

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND-  
UND KIEFERHEILKUNDE

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. H. Korbmacher-Steiner  
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg  
Standort Marburg, Abteilung für Zahnerhaltungskunde

**Einfluss verschiedener Spülflüssigkeiten auf den  
Haftverbund von *AH 26* zum Wurzelkanalentin**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

**Christina Deimen**

aus

Wickede (Ruhr)

Marburg 2017

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
am: 14.06.2017

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches.

<b>Dekan:</b>	Prof. Dr. Harald Schäfer
<b>Referent:</b>	Priv.-Doz. Dr. Matthias J. Roggendorf
<b>1. Korreferent:</b>	Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Für alle, die immer an mich geglaubt haben.

# INHALTSVERZEICHNIS

---

1	EINLEITUNG .....	1
2	LITERATURÜBERSICHT .....	2
2.1	Spülflüssigkeiten für die chemo-mechanische Wurzelkanalaufbereitung .....	2
2.1.1	Natriumhypochlorit (NaOCl) .....	3
2.1.2	Chelatoren .....	4
2.1.2.1	Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) .....	4
2.1.2.2	Zitronensäure .....	5
2.1.3	Chlorhexidindigluconat (CHX) .....	6
2.1.4	<i>QMix 2 in 1</i> .....	7
2.2	Wurzelkanalfüllpasten (Sealer) .....	7
2.2.1	Sealer auf Epoxidharz-Basis: <i>AH 26/AH Plus</i> .....	8
2.2.2	Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis: <i>Kerr Pulp Canal Sealer, Tubli-Seal, Grossman's Cement, Roth 501</i> .....	9
2.2.3	Sealer auf Calciumsalicylat-Basis: <i>Sealapex, Apexit, Apexit Plus, MTA Fillapex</i> .....	10
2.2.4	Sealer auf Silikat-Basis: <i>BioRoot RCS</i> .....	10
2.2.5	Sealer auf Glasionomer-Basis: <i>Ketac-Endo, Activ GP Sealer, Endion</i> .....	11
2.2.6	Sealer auf Silikon-Basis: <i>Roeko-Seal-Automix (RSA), GuttaFlow</i> .....	11
2.2.7	Sealer auf Komposit-Basis: <i>RealSeal, Metabond</i> .....	12
2.3	Die Schmierschicht (Smear layer) .....	12
3	VERSUCHSPLANUNG UND ZIELSETZUNG .....	14
3.1	Nullhypothesen .....	14
4	MATERIAL UND METHODE .....	15
4.1	Versuchsaufbau .....	15
4.2	Vorbereitung der Versuchsproben .....	16
4.2.1	Auswahl der Probenzähne .....	16
4.2.2	Vorbereitung der Spreader .....	18
4.2.3	Spülprotokolle .....	19

4.2.4	Zementierung der Spreader.....	19
4.2.5	Pullout-Testverfahren .....	22
4.2.6	Statistische Auswertung .....	23
4.2.7	Auswertung des Bildmaterials .....	24
5	ERGEBNISSE .....	26
6	DISKUSSION .....	28
6.1	Methodik.....	28
6.1.1	Proben.....	28
6.1.2	Spülflüssigkeiten .....	29
6.1.3	Stahlspreader .....	30
6.1.4	Vorbehandlung der Spreader .....	30
6.1.5	Sealer .....	31
6.1.6	Messverfahren .....	32
6.1.6.1	Pullout-Test .....	32
6.1.6.2	Pushout-Test .....	33
6.1.6.3	Microtensile-Test .....	34
6.2	Ergebnisse .....	34
6.2.1	Prüfung der Nullhypothesen.....	34
6.2.2	Natriumhypochlorit (NaOCl) .....	35
6.2.3	Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) .....	36
6.2.4	Zitronensäure.....	37
6.2.5	Weitere Chelatoren .....	38
6.2.6	Chlorhexidindiglukonat (CHX).....	39
6.2.7	<i>QMix 2 in 1</i> .....	40
6.2.8	Destilliertes Wasser (Aqua dest.).....	40
6.2.9	Einfluss des Smear layers.....	41
6.2.10	Analyse der Frakturmodi .....	41
7	KLINISCHE RELEVANZ.....	42
8	ZUSAMMENFASSUNG .....	43

8.1	Hintergrund und Problemstellung .....	43
8.2	Material und Methode.....	44
8.3	Ergebnisse .....	44
8.4	Schlussfolgerung .....	45
9	SUMMARY .....	46
9.1	Introduction .....	46
9.2	Material and Methods .....	46
9.3	Results.....	47
9.4	Conclusion.....	47
10	LITERATURVERZEICHNIS .....	48
11	ANHANG .....	64
11.1	Analyse der Spreader .....	64
11.2	Materialliste .....	67
11.3	Abkürzungen .....	68
11.4	Übersicht der Abbildungen .....	69
11.5	Übersicht der Tabellen.....	69
12	VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER .....	70
13	DANKSAGUNG .....	71

## 1 EINLEITUNG

Die Endodontie stellt einen Fachbereich der konservierenden Zahnheilkunde dar und beschäftigt sich mit der Thematik, Zähne mit einer irreversiblen Pulpitis oder einer apikalen Parodontitis durch eine adäquate Therapie zu erhalten und damit einen Zahnverlust zu vermeiden. Dabei soll versucht werden, die betroffenen Zähne durch Entfernung der entzündeten bzw. nekrotischen Pulpa und Erweiterung der Wurzelkanäle inklusive Desinfektion durch chemische Spülflüssigkeiten und einer anschließenden dichten, hermetischen Wurzelfüllung im Munde zu erhalten. Bei der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung entsteht ein Gewebeabtrag und es verbleiben Bakterien in dem Wurzelkanalsystem, die eliminiert werden müssen, um einen Erfolg der Wurzelkanalbehandlung zu gewährleisten und Undichtigkeiten oder Reinfektionen vorzubeugen. Deswegen werden endodontische Spülflüssigkeiten benutzt, die antimikrobielle und gewebeauflösende Eigenschaften besitzen und so ermöglichen, den Wurzelkanal zu reinigen und zu desinfizieren. Zudem vereinfachen einige Substanzen die mechanische Aufbereitung, indem sie das Wurzelkanalentin erweichen, wodurch die Kanalerweiterung erleichtert wird. Da keine auf dem Markt verfügbare Spüllösung alle Anforderungen erfüllen kann, werden in der Praxis häufig mehrere Flüssigkeiten in Kombination oder in einer Spülsequenz verwendet. Nach der chemo-mechanischen Wurzelkanalaufbereitung erfolgt die Wurzelkanalfüllung. Vorzugsweise wird Guttapercha als Kernmaterial zusammen mit einer Wurzelkanalfüllpaste (Sealer) verwendet. Der Sealer soll einen bakteriendichten Verschluss garantieren und zudem vorhandene akzessorische Seitenkanäle verschließen. Die Haftwerte zum Dentin sollten ausreichen, um einer Mikroleakage und einen damit verbundenen Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung vorzubeugen und zudem den durch die Schaffung einer Zugangskavität und Instrumentierung geschwächten Zahn möglichst auch nachfolgend zu stabilisieren. In der Literatur wird stark diskutiert, ob der entstehende Smear layer besser entfernt oder belassen werden sollte. Der Haftverbund zum Dentin wird als ein wichtiger Faktor angesehen, der eine langfristig stabile Wurzelkanalfüllung ermöglicht und im Falle einer erforderlichen Stiftversorgung eine Verschiebung oder gar Extrusion des Wurzelkanalfüllstiftes verhindern soll. In dieser Arbeit wird der Einfluss verschiedener Spülflüssigkeiten auf den Haftverbund von AH 26 zum Wurzelkanalentin untersucht.

## 2 LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Spülflüssigkeiten für die chemo-mechanische Wurzelkanalaufbereitung

Im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung kann das Wurzelkanalsystem prinzipbedingt nicht ausreichend durch die mechanische Instrumentierung gereinigt werden. Die chemische Wurzelkanalspülung spielt daher eine genauso große Rolle und muss ausreichend effektiv sein [35, 50].

Laut Stellungnahme von der Deutschen Gesellschaft von Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) und der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) aus dem Jahr 2006 bestehen die Ziele einer Wurzelkanalspülung zunächst in der Reduktion von Keimen und bakteriellen Toxinen im Wurzelkanalsystem, der Auflösung und Entfernung von Resten des Pulpagewebes und in der Unterstützung der mechanischen Aufbereitung sowie dem Abtransport von Dentinspänen [35]. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an eine endodontische Spüllösung: sie muss in der Lage sein, organisches und anorganisches Gewebe zu zersetzen und den Smear layer zu entfernen [35]. Des Weiteren sollte sie eine breite antibakterielle Wirkung vor allem gegenüber anaeroben und fakultativ anaeroben Mikroorganismen aufweisen, die sich bevorzugt im Wurzelkanal befinden und deren Endotoxine inaktivieren können, um eine Desinfektion des Dentins und der Tubuli zu gewährleisten [25, 118, 134]. Darüber hinaus sollte sie das Dentin in seiner Struktur nicht verändern, den Zahn nicht verfärben und eine Kompatibilität zum späteren Wurzelkanalfüllmaterial zeigen und keine Interaktionen mit dem Sealer bewirken, um Undichtigkeiten vorzubeugen [52, 85, 118]. Da die Flüssigkeiten aufgrund der Spülwirkung systembedingt mit dem apikalen Parodont in Berührung kommen, dürfen sie keine ätzende, allergisierend, toxische oder kanzerogene Wirkung besitzen und folglich auch nicht die periapikale Region oder gar den Gesamtorganismus schädigen, also über eine gute Biokompatibilität verfügen [35, 50, 52, 118, 134]. Erwünschte Eigenschaften sind eine leichte Applizierbarkeit sowie eine günstige Herstellung und Lagerungsfähigkeit [118, 134]. Zu diesem Zweck wurden viele verschiedene Spülflüssigkeiten ausprobiert. Bisher ist es aber nicht gelungen, eine einzige Spülflüssigkeit zu entwickeln, die alle Anforderungen erfüllt. Deswegen müssen bislang verschiedene Spüllösungen im Rahmen eines Spülprotokolls eingesetzt werden [6, 11, 118].



### 2.1.1 Natriumhypochlorit (NaOCl)

Bei Natriumhypochlorit handelt es sich um eine Substanz mit antimikrobiellem und gewebeauflösendem Charakter, die während der Instrumentierung des Wurzelkanals eingesetzt wird. Sie wird vielfach genutzt und gilt als Standardspülflüssigkeit in der Endodontie, da sie die meisten erforderlichen Eigenschaften besitzt [25, 32, 56, 65, 74, 75, 80, 127, 128, 134]. Walker setzte 1936 zum ersten Mal eine Natriumhypochlorit-Lösung in einer Konzentration von 5 % bei der Wurzelkanalbehandlung ein [80]. Seitdem ist weltweit keine Innovation bekannt [80]. Natriumhypochlorit kann kostengünstig und leicht hergestellt werden und zeigt zudem bei dunkler, kühler Lagerung eine gute Haltbarkeit [35, 80, 134]. Es wird in verschiedenen Konzentrationen von 0,5 bis 6 % angeboten. Seine Wirkung hängt zusätzlich vom Spülvolumen, der Spüldauer sowie der Temperatur ab. In höheren Konzentrationen, vor allem aber nach Überpressung oder beim Vorliegen einer nekrotischen Pulpa oder offenen Apices, weist es vermutlich einen toxischen Effekt auf das periapikale Gewebe auf, der sich als schmerzhaftes Gewebereaktionen wie Schwellungen, Hämatome, eventuelle sekundäre Infektionen oder Parästhesien äußert [90]. Niedriger konzentriert kommen seine positiven Eigenschaften nicht mehr ausreichend zur Geltung [25, 35, 74, 80, 133]. Seine antimikrobielle Wirkung entfaltet NaOCl, indem es durch die irreversible Inhibition von Enzymen, durch Stoffwechselveränderungen und Zerstörung von Phospholipiden Einfluss auf die Bakterienmembran nimmt [80]. Wird die Spülflüssigkeit erwärmt, erhöhen sich ihre gewebeauflösenden Eigenschaften. Somit sind laut Mahammadi (2008) 1%iges NaOCl bei 45 °C und 5,25%iges NaOCl bei 20 °C vergleichbar und es können wiederum geringere Konzentrationen genutzt werden, so dass die oben genannten Risiken sinken [80]. Außerdem scheint sich die Aktivierung der Spüllösung mit Ultraschall positiv auf die Wurzelkanalsäuberung auszuwirken. Demzufolge berichten Weber et al. (2003), dass nach Handinstrumentierung eine passive Aktivierung mit Ultraschall für drei Minuten signifikant sauberere Wurzelkanäle verursacht [128]. Ebenso sprechen Cheung und Stock (1993) von einer verbesserten Wirkung von NaOCl durch Ultraschallaktivierung [28]. Unvorteilhafterweise zersetzt Natriumhypochlorit vornehmlich organisches, lockeres Gewebe wie zum Beispiel Pulpagewebe. Es entfernt kein anorganisches Gewebe und ist somit auch nicht in der Lage, den Smear layer zu entfernen [10, 45, 85, 49, 51, 132]. Weitere Nachteile stellen das Allergiepotezial, die oben erwähnte Toxizität, der

unangenehme Geruch und die Korrosion der verwendeten Instrumente während der Aufbereitung dar. Außerdem weisen einige Mikroorganismen eine Resistenz bei niedrigen Konzentrationen auf und es findet keine Differenzierung zwischen nekrotischem und vitalem Gewebe bei Kontakt mit den apikalen oder periapikalen Regionen statt [62, 74, 80, 128].

### 2.1.2 Chelatoren

Chelatoren wurden 1957 von Nygaard-Østby zur Aufbereitung schmaler, kalzifizierter Wurzelkanäle eingeführt [60, 86]. Sie dienen der Smear layer-Entfernung und erweitern das Dentin durch Demineralisation. Diese Vorgänge sind auch unter dem Begriff des chemo-mechanischen oder auch physiko-chemischen Debridements bekannt. Chelatoren haben die Aufgabe, den Wurzelkanal optimal für die nachfolgende Wurzelkanalfüllung vorzubereiten. Sie enthalten Metallionen, die einen stabilen Komplex mit anorganischen Stoffen (wie zum Beispiel Calcium) eingehen können. Durch das Herauslösen von Calcium aus dem Hydroxylapatit des Dentins werden die Dentintubuli geöffnet und erweitert. Sobald der Chelator verbraucht ist, entsteht ein Gleichgewicht und die Demineralisation stoppt [13, 37, 45, 60, 134].

#### 2.1.2.1 Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)

Ethylendiamintetraessigsäure war der erste Chelator, der in der Endodontie genutzt wurde [127]. Die schwache Säure besitzt vier Carboxylgruppen und wird meist in einer Konzentration von 17 % verwendet [56, 60]. Sie bildet einen Komplex mit Calcium und löst somit die anorganischen Bestandteile des Smear layers auf und hinterlässt die organischen Substanzen an der Wurzelkanalwand, die infolgedessen als Schutzschicht eine Barriere für eine weitere Demineralisation bilden, ohne die Kollagenfasern zu verändern [37, 56]. Die Dekalzifizierung kann bis zu 20-30 µm in die Tubuli erfolgen [105]. Während der Demineralisation findet eine Veränderung des pH-Wertes statt. Sinkt dieser, so verringert sich auch die Dekalzifizierungsrate und folglich auch die herausgelöste Calciummenge [45]. Eine Abschlusspülung mit 17%iger EDTA-Lösung puffert den pH-Wert auf 7,7 [132]. EDTA weist einige erwünschte Eigenschaften auf, die für den

Erfolg der Wurzelkanalbehandlung von Bedeutung sind: dazu zählen die oben genannte Smear layer-Entfernung und die Erweiterung der Dentintubuli. Durch den relativen Weichmachereffekt kann der Wurzelkanal schneller aufbereitet und das Passieren schmaler, enger Kanäle erleichtert werden [55, 95, 101]. Des Weiteren verfügt EDTA über eine geringe Oberflächenspannung, was dazu führt, dass die Fließfähigkeit der Spüllösung erhöht und somit die Befeuchtung des Wurzelkanals aufgrund des Kontaktes zum Dentin verbessert wird. Wird die Säure in niedrigeren Konzentrationen angewandt, ist auch ihre Wirkung geringer [101]. Es ist laut Hülsmann et al. (2003) darauf zu achten, keine Reste der Substanz zu hinterlassen, da diese mit dem verwendeten Sealer reagieren können [60]. Daher wird eine nochmalige Spülung mit NaOCl empfohlen, weil diese die Wirkung von EDTA stoppt.

#### 2.1.2.2 Zitronensäure

Als organische Säure wird Zitronensäure nicht nur in der Endodontie benutzt, sondern findet zum Beispiel auch Einsatz in Blutbanken zur Verhinderung der Gerinnung und kommt natürlicherweise in unseren Körpern in den Mitochondrien vor [41, 127]. Sie kann leicht und kostengünstig hergestellt werden [57]. Bei der Wurzelkanalbehandlung wird sie meist in einer Konzentration von 50 % gebraucht und dient ebenso wie EDTA der Smear layer-Entfernung [57, 105, 115]. Sie beseitigt die Schmierschicht vollständig und zurück bleibt das Kollagenfasernetz mit erweichtem intertubulärem Dentin um vergrößerte Tubulieingänge. Die Demineralisationstiefe kann bis zu 10-15 µm betragen [45]. Durch die Modifizierung der Calcium-Phosphat-Rate wird der chemische Aufbau des humanen Dentins verändert. Die Mikrohärtigkeit des Dentins sinkt und seine Rauigkeit nimmt zu. Die irreguläre Oberfläche liefert eine gute Basis für die mikromechanische Verbindung adhäsiver Materialien. Durch den auch schon oben genannten Weichmachereffekt kann die Wurzelkanalaufbereitung effektiv und schnell erfolgen und enge Kanäle können leicht erweitert werden [41, 57, 115]. Hennequin, Pajot und Avignant (1994) berichten davon, dass bei einem pH-Wert von 1,1 die größte Menge an Calcium herausgelöst wird, bei einem pH-Wert von 0,8 und 1,3 sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar [58]. Um die chemischen Vorgänge zu steuern, sollte die Säurekonzentration an den Calciumanteil angepasst werden. Zitronensäure zeigt

nahezu keine Wirkung auf organisches Gewebe. Außerdem werden Kristallausfällungen beobachtet. Dies könnte sich nachteilig in Bezug auf die spätere Wurzelkanalfüllung auswirken [105, 132].

### 2.1.3 Chlorhexidindiglukonat (CHX)

Chlorhexidindiglukonat ist eine starke Base, die in Form ihres Salzes die stabilste Form annimmt. Sie kann als Flüssigkeit oder auch als Gel angewendet werden. Das Gel enthält Natrosol, ist viskös, nicht-ionisch, hoch inert, wasserlöslich und beugt der Anheftung des Smear layers an das Wurzelkanaldentin vor. Trotz der vorteilhaften Eigenschaft der Smear layer-Entfernung führt die Anwendung zur unerwünschten Erosion intertubulären Dentins [124, 134]. Weiterhin ist darauf zu achten, vor und nach der Spülung mit NaOCl den Wurzelkanal mit Papierspitzen zu trocknen, da es sonst bei Kontakt der Reaktionspartner zur Ausfällung bräunlicher Kristalle kommen kann, die zur Zahnverfärbung führen können [35, 134]. Darüber hinaus enthalten die Kristalle Parachloranilin, das als karzinogen angesehen wird [121]. CHX wird daher nicht als Standardspüllösung, sondern vielmehr als adjuvante Spüllösung bei der chemomechanischen Wurzelkanalaufbereitung insbesondere bei einer mikrobiellen Kontamination des Endodonts verwendet. Oft wird es als intrakanaläre Medikamenteneinlage oder als Finalspülung genutzt [32, 128]. Dies verringert das Auftreten von Reinfektionen des Wurzelkanals ebenso wie von Flare-ups [33, 128]. Chlorhexidindiglukonat besitzt keine gewebeauflösenden Eigenschaften und ist nicht in der Lage, bakterielle Endotoxine, wie Lipopolysaccharide, zu deaktivieren und ist deshalb nicht als Primärspülung geeignet [25, 35, 134]. Vor allem aber für Patienten mit einer Chlor-Allergie oder bei weit offenen Apices bietet CHX eine geeignete Alternative [62, 128]. CHX weist ein breites antimikrobielles Spektrum vor allem gegenüber grampositiven Keimen wie zum Beispiel Enterokokken und Pilzen auf. Laut Leonardo et al. (1999) besitzt CHX in niedrigen Konzentrationen bakteriostatische und in höheren Konzentrationen bakterizide Eigenschaften [74]. Somit stellt es ein geeignetes Desinfektionsmittel für die Wurzelkanalreinigung dar, wobei es zusätzlich noch gut an das Dentin anhaften kann, was als Substantivität bezeichnet wird [32, 35, 44, 56, 74, 128, 134]. Laut Carson et al. (2005) können dadurch Bakterien bis zu 21 Tage lang abgetötet werden [25]. Dies ist vor

allem bei einer nekrotischen Pulpa und periapikalen Läsionen von Vorteil [43]. Außerdem ist CHX in der Lage, Matrixmetalloproteasen in ihrer Aktivität zu behindern. Somit werden die Kollagenfasern des Dentins nicht so schnell aufgelöst und die Hybridschicht zwischen Wurzelkanalfüllung und Dentinwand kann länger bzw. dauerhaft aufrechterhalten werden [56, 65, 84].

#### 2.1.4 *QMix 2 in 1*

Bei dieser Flüssigkeit handelt es sich um ein Gemisch aus EDTA, CHX, einem Detergens und Wasser. Sie wird zur Smear layer-Entfernung eingesetzt und besitzt gleichzeitig eine antibakterielle Eigenschaft aufgrund des Inhaltsstoffes CHX. Durch die chemische Zusammensetzung wird der Ausfällung von Parachloranilin vorgebeugt, die ansonsten bei der Verwendung von CHX in Kombi mit NaOCl oder EDTA auftritt. Es wurde festgestellt, dass die Penetration von Sealern im koronalen und mittleren Drittel des Wurzelkanals verbessert ist. Im apikalen Drittel sind keine Unterschiede zu anderen Spüllösungen erkennbar. Eine Studie weist aber darauf hin, dass *QMix* mit der Verwendung von 17%iger EDTA-Lösung nach vorheriger Spülung mit NaOCl zur Entfernung des Smear layers gleichzusetzen ist [121]. Elnaghy (2014) spricht dagegen von einer Verbesserung durch *QMix* [42].

## 2.2 Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Als Sealer wird die Wurzelkanalfüllpaste in der Endodontie bezeichnet und ihre Aufgabe besteht darin, den freien Raum zwischen Guttaperchapoints und der Wurzelkanalwand auszufüllen. Die Qualität der Wurzelkanalfüllung und somit der Erfolg der Wurzelkanalbehandlung hängen dabei stark von dem Abdichtungsvermögen des Sealers ab [15, 117]. Je niedriger seine Oberflächenspannung ist, desto besser kann sich der Sealer an die Wurzelkanaloberfläche anlagern und zudem in die Dentintubuli penetrieren. Dadurch wird die Kontaktfläche vergrößert und somit auch die Dichtigkeit optimiert [1, 67, 77, 106]. Des Weiteren sollte eine Wurzelkanalfüllpaste idealerweise über einen guten Haftverbund sowohl zum Guttapercha als auch zum Wurzelkanaldentin verfügen [4, 78, 84, 110]. Gerade die Adhäsion an die Wurzelkanalwand ist aus zwei Gründen

von Bedeutung: zunächst erstreckt sich die statische Komponente in der Eliminierung freier Räume, die ein Flüssigkeitseindringen erlaubt. Die dynamische Komponente besteht in der Widerstandskraft der Wurzelkanalfüllung gegenüber Belastungen [81, 113, 117]. Da kalt verformte Guttapercha nicht am Dentin haftet, sollte der Sealer eine gute Fließfähigkeit aufweisen. Am besten sollte ein dünner, homogener Zementfilm vorliegen, um eine erfolgreiche Wurzelkanalfüllung zu gewährleisten [36, 54, 61, 81, 110]. Außerdem sollte der Sealer keine negativen Eigenschaften wie Schrumpfung, Auflösung oder Toxizität besitzen, da dies zum Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung und nachfolgenden Beschwerden führen kann [81, 84]. Aus diesem Grund stehen viele verschiedene Stoffe auf dem Markt zur Verfügung, die nachfolgend genauer beschrieben werden.

### 2.2.1 Sealer auf Epoxidharz-Basis: *AH 26/AH Plus*

Epoxidharzsealer wie *AH 26* und *AH Plus* gelten heute als der Goldstandard zur Analyse endodontischer Sealer auf den Widerstand gegenüber äußeren Einwirkungen. Sie wurden umfassend hinsichtlich ihrer physiologischen und chemischen Eigenschaften sowie den entstehenden biologischen Reaktionen und der Adaptation untersucht. *AH 26* repräsentiert ein bereits seit über 50 Jahren auf dem Markt befindliches Wurzelkanalfüllmaterial, welches im Gegensatz zum *AH Plus* eine etwas geringere Adhäsion aufweist [9, 54, 117]. Beide Produkte sind Epoxidharzsealer, basieren jedoch auf unterschiedlichen Formulierungen und Polymerisationsmechanismen. Sie besitzen einen Epoxidring, der für die jeweilige Reaktion verantwortlich ist. Im Falle des *AH 26* bindet er kovalent an die organischen Bestandteile des Dentins, wie das Kollagen, öffnet sich und eine Polykondensation wird gestartet. Dadurch wird die Haftung an der Wurzelkanalwand gewährleistet [73, 81]. Bei *AH Plus* handelt es sich stattdessen um eine Polyadditionsreaktion, bei der sich reaktive Epoxidaminogruppen bilden [84, 124]. *AH 26* ist leicht zu handhaben und weist hervorragende physikalische Eigenschaften wie eine adäquate Aushärtungszeit, eine gute Fließrate und eine geringe Löslichkeit auf. Des Weiteren ist die geringe Polymerisationsschrumpfung von großer Bedeutung, da dies den Erfolg der Wurzelkanalfüllung durch eine dauerhafte Dichtigkeit garantiert [34, 84, 124, 131]. Laut McComb & Smith (1975) kann die Haftkraft zum Dentin bis zu 1,6 MPa

betragen [79]. Die Sealer penetrieren bis zu 59 µm in die Dentintubuli und führen so zu einer Mikroretention und fester Adaptation der Wurzelkanalfüllung an der Wurzelkanalwand [54, 67, 77, 84, 106, 117, 131]. Außerdem berichten Moradi et al. (2009) von einer hygroscopischen Expansion bei der Verwendung von *AH 26*, die einer eventuellen Mikroleakage vorbeugt [81]. Hinsichtlich der Biokompatibilität sind sich die Wissenschaftler bei Sealern auf Epoxidharz-Basis nicht einig. Gerosa et al. (1995) fanden bei einer Studie mit humanen Gingivafibroblasten und der Verwendung von *AH 26* heraus, dass nach 24, 48 und 72 Stunden nur zwischen 5,1 % und 0,16 % lebensfähige Zellen nachweisbar waren, was für eine sehr hohe Zytotoxizität spricht [47]. Andere Autoren widersprechen diesen Ergebnissen und gehen davon aus, dass *AH 26* nur eine geringe Toxizität besitzt und gut toleriert wird [29, 130]. In Studien wird mehrfach darauf hingewiesen, dass es bei der Verwendung von Epoxidharzsealern zu einer initialen Entzündungsreaktion des periapikalen Gewebes kommt. Es werden Bisphenol A und geringe Mengen an Formaldehyd freigesetzt, wodurch die Sealer mutagene und zytotoxische Eigenschaften zeigen. Das Formaldehyd entsteht dadurch, dass dem Sealer Amine beigemischt sind, um die Epoxid-Polymerisation zu bewirken. Die Toxizität sinkt während der Aushärtungsphase stark ab und ist nach einer Woche nicht mehr nachweisbar [20, 83, 102, 104, 135]. Laut Herstellerangaben wird bei der Verwendung von *AH Plus* kein Formaldehyd freigesetzt und auch weitere Autoren stimmen zu, dass dieser Sealer im Vergleich mit anderen Wurzelkanalfüllpasten eine sehr gute Biokompatibilität aufweist und somit als der Goldstandard in der Endodontie gelten sollte [2, 102, 114].

### **2.2.2 Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis: *Kerr Pulp Canal Sealer, Tubli-Seal, Grossman's Cement, Roth 501***

Seit Jahrzehnten werden eugenolhaltige Sealer auf dem Markt angeboten, da sie eine hohe klinische Erfolgsrate vorweisen können und Langzeitergebnisse verfügbar sind [92]. Zinkoxid ist zur Komplexbildung fähig und geht eine Verbindung sowohl mit der Guttapercha als auch mit dem Dentin ein [73]. Das Eugenol dient als Lösungsmittel und erweicht zugleich die Guttapercha, so dass der Haftverbund des Sealers und der Guttapercha ansteigen. So werden Haftwerte zum Dentin von 0,13 +/- 0,02 MPa und zum

Guttapercha von 1,07 +/- 0,19 MPa erreicht [73]. Der Frakturmodus zeigt am Dentin einen adhäsiven Charakter und an der Guttapercha stellt er sich zu 30 % adhäsiv, zu 50 % kohäsiv und zu 20 % gemischt dar [34].

### 2.2.3 Sealer auf Calciumsalicylat-Basis: *Sealapex, Apexit, Apexit Plus, MTA Fillapex*

Calciumsalicylat wurde bereits in den 1980er Jahren zur Stimulation der Hartschubstanzbildung verwendet, um einen apikalen Verschluss anzustreben. Der pH-Wert steigt an und es wird eine lokale Kolliquationsnekrose hervorgerufen. Dadurch bekommt  $\text{Ca(OH)}_2$  seinen antimikrobiellen Charakter [18, 27, 34, 73, 135]. Die Substanz wird dennoch als biokompatibel angesehen, da ihre Bestandteile ähnlich wie die Mineralien des Zahnes und des Knochens aufgebaut sind [27]. Die Sealer demonstrieren ein geeignetes Fließverhalten und gelangen bis zu 80 µm in die Dentinkanälchen. Meist wird ein kohäsiver Frakturmodus nachgewiesen [99]. MTA Fillapex basiert ebenfalls auf Calciumsalicylat. Es ist zudem mit MTA-Partikeln angereichert. MTA steht für „Mineral Trioxid Aggregat“. Anscheinend besitzt es in der Tat hervorragende biologische Eigenschaften und kann leicht verarbeitet werden [9, 70]. Außerdem enthält es Bismutoxid, um die Wurzelkanalfüllpaste im Röntgenbild opak erscheinen zu lassen. Die Wurzelkanalfüllpasten sind gut zu verarbeiten und binden schnell ab [69, 135]. Die Haftwerte am Dentin bzw. am Guttapercha sind mit 0,30 +/- 0,08 MPa und 0,22 +/- 0,001 MPa eher niedrig und durch die Löslichkeit des Sealers besteht die Gefahr von Undichtigkeiten und dem Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung [27, 73, 103].

### 2.2.4 Sealer auf Silikat-Basis: *BioRoot RCS*

Sealer auf Tricalciumsilikat-Basis stellen in der Endodontie bisher noch eine Neuheit dar. *BioRoot RCS* weist gute Löslichkeitseigenschaften, eine angemessene Aushärungszeit und eine adäquate Röntgenopazität auf [94]. Die Fließfähigkeit ist laut Khalil, Naaman & Camilleri (2016) im Gegensatz zum *AH Plus* geringer und die Schichtdicke höher [64]. In einer Studie von Viapiana et al. (2016) dagegen wurden keine Unterschiede bei der Fließfähigkeit und der Penetration der Sealer in die Dentintubuli beobachtet [123]. Allerdings traten bei der Verwendung von *BioRoot RCS* eher Blasenbil-



dungen auf als beim *AH Plus*. Sealer auf Tricalciumsilikat-Basis wirken durch ihren alkalischen Charakter antimikrobiell [64], vor allem wenn EDTA als finale Spülflüssigkeit benutzt wird [5]. Bei Kontakt mit dem periapikalen Gewebe kommt es zu keinen toxischen Reaktionen und es werden angiogene und osteogene Wachstumsfaktoren gebildet [23].

#### 2.2.5 Sealer auf Glasionomer-Basis: *Ketac-Endo*, *Activ GP Sealer*, *Endion*

Glasionomer-Sealer sind in der Lage, durch eine chemische Reaktion und einer mikro-mechanischen Verankerung eine Verbindung sowohl zum Dentin als auch zur Guttapercha einzugehen. Beim *Ketac-Endo* werden Dentinhaftwerte von 0,80 +/- 0,24 MPa und Guttaperchahaftwerte von 0,19 +/- 0,01 MPa beschrieben. Die Frakturmodi am Dentin zeigen zu einem Drittel einen adhäsiven, zu einem weiteren Drittel einen kohäsiven und bei den übrigen Proben einen gemischten Typ. Am Guttapercha werden nur adhäsive Frakturen beobachtet [72, 73]. Vorteilhafterweise besitzen Glasionomer-Sealer einen antimikrobiellen Effekt, sind biokompatibel und weisen ein sehr gutes Fließverhalten auf. Der Sealer expandiert nach Wasserkontakt und die Haftung erhöht sich mit der Zeit [72, 91]. Als nachteilig hingegen wird die lange Abbindereaktion angesehen. Es findet innerhalb der ersten vier Minuten der Verarbeitung eine Anfangsaushärtung statt, sie ist aber erst nach ein paar Wochen bis Monaten abgeschlossen [72].

#### 2.2.6 Sealer auf Silikon-Basis: *Roeko-Seal-Automix (RSA)*, *GuttaFlow*

Diese Sealer enthalten Polydimethylsiloxan, Silikonöl, Paraffinöl, Hexachloroplatinsäure und Zirkonoxid [46] und zeichnen sich vor allem durch ihre Dimensionstreu aus [88]. Silikon ist biokompatibel und wird oft als Implantatmaterial in der Medizin genutzt [61, 106]. Überpresster Sealer wird nicht resorbiert und ist im periapikalen Bereich persistent, was jedoch keine Gefahr für die umgebenden Gewebe darstellt [120]. Die Wurzelkanalfüllungen verfügen über eine gute Dichtigkeit und es werden weniger Mikroleakages beobachtet [14, 68].

### 2.2.7 Sealer auf Komposit-Basis: *RealSeal*, *Metabond*

Diese Sealer werden genauso wie Komposite im Zahnkronenbereich verwendet und stellen mit den freigelegten Kollagenfasern des Wurzelkanalodontins eine Hybridschicht dar [126]. Der Wurzelkanal muss für die Wurzelkanalfüllung vorbereitet werden, indem das Wurzelkanalodontin mit einer Säure konditioniert wird. Der Sealer kann aber auch selbstätzend sein. Anschließend erfolgt das Bonding der Wurzelkanalwände [65, 89]. Nach der Füllung wird die Polymerisation durch UV-Licht gestartet oder der Sealer ist selbsthärtend [44]. Es gilt, die Polymerisationsschrumpfung und den C-Faktor zu bedenken [84, 124].

### 2.3 Die Schmierschicht (Smear layer)

McComb und Smith berichteten 1975 das erste Mal von dem sogenannten Smear layer [79]. Er entsteht bei der Wurzelkanalbehandlung durch das Bearbeiten des Wurzeldentins mit verschiedenen Instrumenten. Der Substanzabrieb bildet eine 1-2 µm dicke Schicht, die bis zu 40 µm in die Dentintubuli hineinragen kann [10, 12, 13, 21, 22, 48, 76]. Das Ausmaß des Smear layers hängt von der Art und der Schärfe der Instrumente ab und auch der Dentinzustand spielt eine Rolle. Es ist entscheidend, ob ein trockenes oder feuchtes Milieu im Wurzelkanal herrscht [125]. Die Schmierschicht ist mit dem bloßen Auge nicht sichtbar und bildet eine amorphe Struktur aus, die vor allem aus anorganischem, verkalktem Gewebe besteht [48]. Die Morphologie, die Bestandteile und die physikalischen und chemischen Eigenschaften sind auch heutzutage noch nicht ausreichend erforscht. Aus diesem Grund sind sich die Wissenschaftler noch nicht darüber einig, wie mit ihm umzugehen ist [38].

Einige Autoren sprechen sich für das Belassen des Smear layers aus, da sie davon ausgehen, dass durch die Substanzschicht die Permeabilität der Dentinkanälchen erniedrigt wird und so Bakterien nur sehr langsam oder überhaupt nicht in der Lage sind, in die Tubuli zu gelangen [10, 38]. Ferner wird in einigen Studien erwähnt, dass die Schmierschicht keinen negativen Einfluss auf den Haftverbund des Sealers ausübt bzw. bei bestimmten Wurzelkanalfüllpasten sogar ein positiver Effekt auftritt [15, 48].

Andere Autoren befürworten die Entfernung des Smear layers, da er ihrer Meinung nach selbst Bakterien beinhaltet und darüber hinaus den darunterliegenden Schutz bietet und deshalb keine ausreichende Desinfektion des Wurzelkanalsystems erfolgen kann. Überdies werden die Spülflüssigkeiten, Medikamenteneinlagen und Füllungsmaterialien in ihrer Funktion behindert, da sie schlechter in den Wurzelkanal eindringen und an der Wurzelkanalwand haften können [10, 38, 60]. Die Dentintubuli werden verschlossen und es besteht die Gefahr einer Mikroleakage zwischen Wurzelkanalfüllung und Wurzelkanalwand aufgrund der fehlenden Verzahnung der Sealerausläufer in den Dentinkanälchen [6, 15, 40, 60, 81, 118, 124].

### 3 VERSUCHSPLANUNG UND ZIELSETZUNG

Neben der erwünschten Reinigungs- und Desinfektionswirkung haben endodontische Spülflüssigkeiten auch unerwünschte Begleiteffekte. Sie führen zur Erosion und Erweichung des Dentins und können ebenfalls einen Einfluss auf den Haftverbund von Wurzelkanalsealern zum Kanalwanddentin bewirken. Im Rahmen der vorliegenden *In-vitro*-Studie soll ein möglicher Einfluss von Spülflüssigkeiten auf den Haftverbund von *AH 26* untersucht werden. Hierzu werden 60 einwurzelige Zähne mit geradem Wurzelquerschnitt randomisiert in fünf Gruppen (n=12) aufgeteilt. Alle Versuchsproben werden nach Dekoronation unter Verwendung des *BioRaCe*-Systems bis auf eine Arbeitslänge von 8 mm und ISO 60 maschinell aufbereitet und mit 5 ml einer bestimmten Lösung gespült. Da im Rahmen einer endodontischen Behandlung zudem oftmals Spülprotokolle zum Einsatz kommen, sind natürlich weitere Effekte möglich. So könnten sich positive Effekte verstärken oder aufheben. Um die Eigenschaften der einzelnen Spülflüssigkeiten auf den Haftverbund von *AH 26* zum Dentin jedoch vorab zu kennen, wurde im Rahmen dieser Studie mit den verschiedenen verfügbaren endodontischen Einzelspüllösungen gearbeitet. So lassen sich die jeweiligen Eigenschaften bei gleicher Spüldauer und Spülmenge miteinander vergleichen. Nach Trockenlegung des Wurzelkanals wird ein standardisierter Spreader mithilfe von *AH 26* befestigt. Zur Analyse des Haftverbundes des *AH 26* zum Wurzelkanaldentin wird der Pullout-Test nach Ebert et al. (2011) mittels der Zwick-Universaltestmaschine 1120 durchgeführt und anschließend erfolgt die statistische Auswertung mit *SPSS 21* [39].

#### 3.1 Nullhypothesen

Folgende Nullhypothesen sollen geprüft werden:

**1. Die verschiedenen Spülflüssigkeiten haben keinen Einfluss auf den Haftverbund von *AH 26* zum Wurzelkanaldentin.**

**2. Der Smear layer hat für den Haftverbund von *AH 26* zum Wurzelkanaldentin keine Bedeutung.**

## 4 MATERIAL UND METHODE

### 4.1 Versuchsaufbau

Auswahl der Versuchsproben	60 extrahierte, einwurzelige, humane Zähne mit geradem Wurzelverlauf
Vorbereitung der Probenzähne	Dekoronation und maschinelle Aufbereitung bis ISO 60 mit <i>BioRaCe</i> , 8 mm Arbeitslänge
Spülung	Je 5 ml einer Spülflüssigkeit für 3 Minuten
	EDTA (17%)   NaOCl (3%)   CHX (2%)   Zitronensäure (40%)   Aqua dest. Kontrollgruppe
Spreaderanpassung	Spreader ISO 20 > ISO 60 adjustiert, Silikatisierung mittels <i>CoJet</i> Nach Trocknung mit Papierspitzen Applikation von <i>AH 26</i> per <i>Lentulo</i> Einbringen des angepassten Spreaders auf eine Arbeitslänge von 8 mm Kontrolle der Endposition des Spreaders und Lagerung für zwei Wochen
Pullout-Test	<i>Zwick</i> -Universaltestmaschine 1120
Statistische Auswertung	<i>SPSS 21</i> mittels Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Test
Spreaderanalyse	Mikrofotografische Analyse der Frakturmodi

## 4.2 Vorbereitung der Versuchsproben

### 4.2.1 Auswahl der Probenzähne

In dieser Studie wurden 60 humane, einwurzelige Zähne mit einem geraden Wurzelverlauf sowie nur einem Wurzelkanal verwendet. Dies wurde zuvor röntgenologisch überprüft.

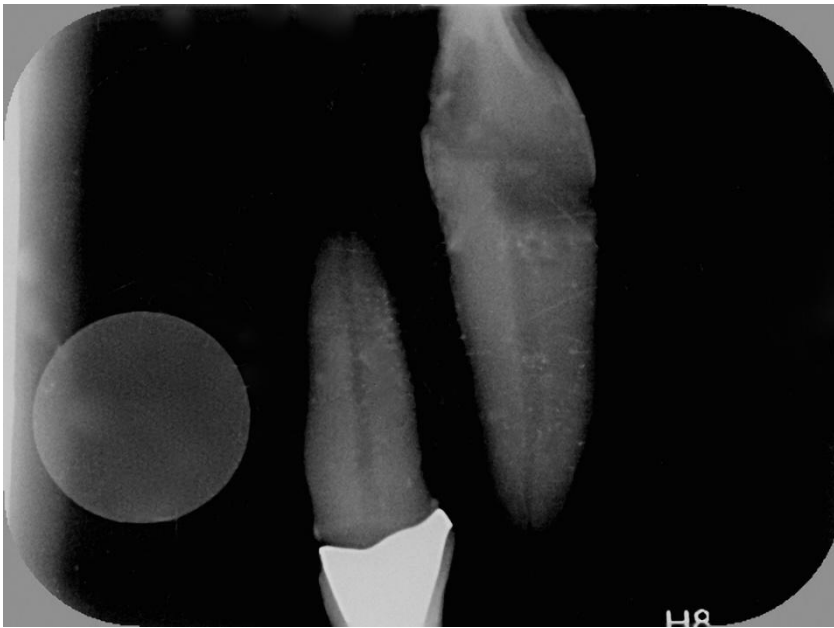


Abbildung 1: röntgenologische Überprüfung der Probenzähne

Es wurden vor allem Front- sowie Eckzähne und teilweise auch Prämolaren eingesetzt, die präoperativ einen nicht zu konischen Wurzelkanal aufwiesen. Eine vorhandene Karies, ein nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum, Schäden in der Zahnhartsubstanz der Wurzel oder eine bereits erfolgte Wurzelkanalbehandlung waren Ausschlusskriterien. Direkt nach der Extraktion wurden die Zähne zuerst in einer gesättigten Thymol-Lösung (Fa. Merck) gesammelt. Kurz vor dem Versuchsbeginn wurden sie für einige Tage in einem Gemisch aus 0,001%iger Natriumazid-Lösung gelagert, um eine bestmögliche Keimfreiheit zu gewährleisten. Zunächst wurden grobe Verschmutzungen, wie Konkremente und anhaftende Faserreste, mittels eines Scalers (Hu-Friedy, Leimen) entfernt und danach alle Zähne nochmals mit rotierenden Bürstchen und grünem Winkelstück (*INTRAmatic Lux 3*, Fa. KaVo) gereinigt. Nach der Reinigung erfolgte die Abtrennung der Krone von der Wurzel auf Höhe der Zementgrenze mittels Diamantschleifer und rotem Winkelstück bei 120.000 U/min und unter Wasserkühlung (*INTRAmatic Lux 2*, Fa. KaVo).



Abbildung 2: Abtrennung der Wurzel an der Schmelz-Zement-Grenze

Die Wurzellänge sollte von apikal gemessen 10 mm betragen. Nach Aufsuchen des Wurzelkanals mithilfe einer *C-Pilotfeile*, eventueller Exstirpation verbliebenden nekrotischen pulpalen Gewebes und Überprüfung des Kanals auf Durchgängigkeit wurden die Versuchszähne maschinell mit *BioRaCe*-Instrumenten (FKG Dentaire) mittels Single-length-Technik bis .02/#60 aufbereitet.

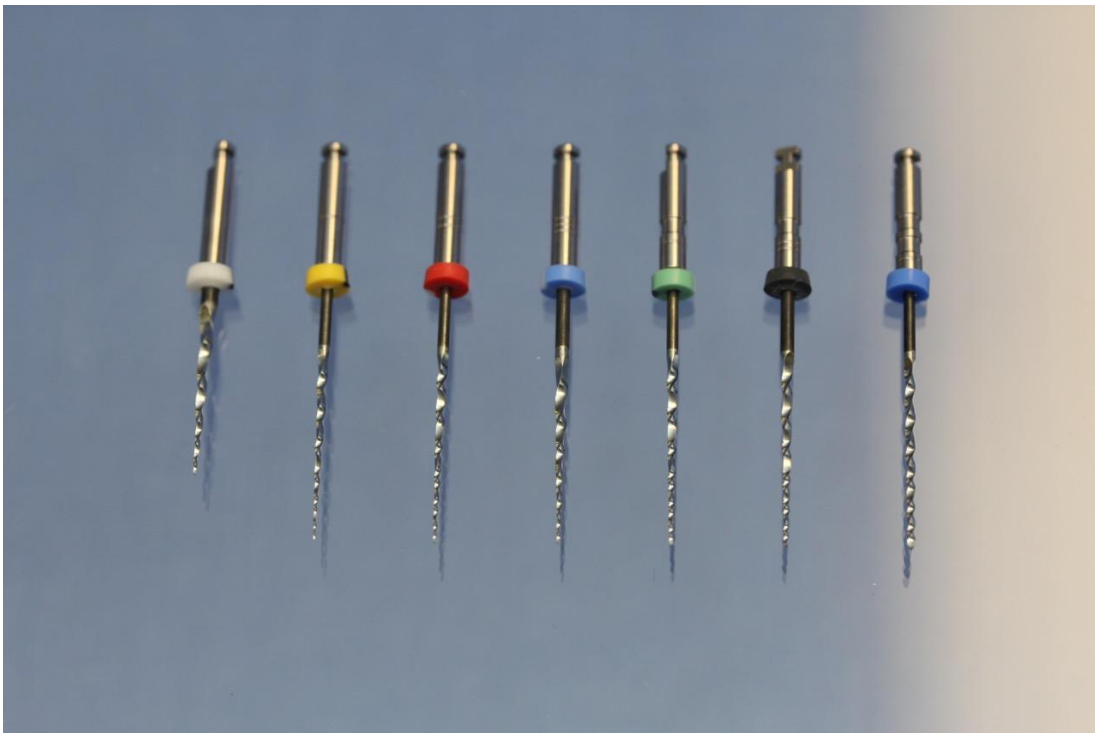


Abbildung 3: Für die Wurzelkanalaufbereitung eingesetztes *BioRaCe*-Instrumenten-Set

Dabei fand während der Instrumentierung nach jedem Feilenwechsel eine Spülung des Wurzelkanals ausschließlich mit Aqua dest. statt. Abschließend wurden die Probenzähne auf eine Wurzelkanallänge von 8 mm getrimmt mit einer resultierenden Wurzelkanaloberfläche von 17,1 mm<sup>2</sup>. Bis zur Spülung lagerten die Proben weiterhin feucht, um ein Austrocknen zu vermeiden.

#### 4.2.2 Vorbereitung der Spreader

Die Spreader-Rohlinge (Fa. Dentsply Maillefer) besaßen zu Beginn die Maße .02/#25 und mussten mithilfe einer Messlehre von apikal gekürzt und an die gewünschte Zielgröße .02/#60 durch apikale Entgratung mittels Diamantschleifer und Abrundung mit Arkansas-Steinchen adjustiert werden. Danach erfolgte wiederum eine Röntgenkontrolle zur Überprüfung der korrekten Spreaderpassung im Wurzelkanal und der Erreichung der Arbeitslänge von 8 mm.

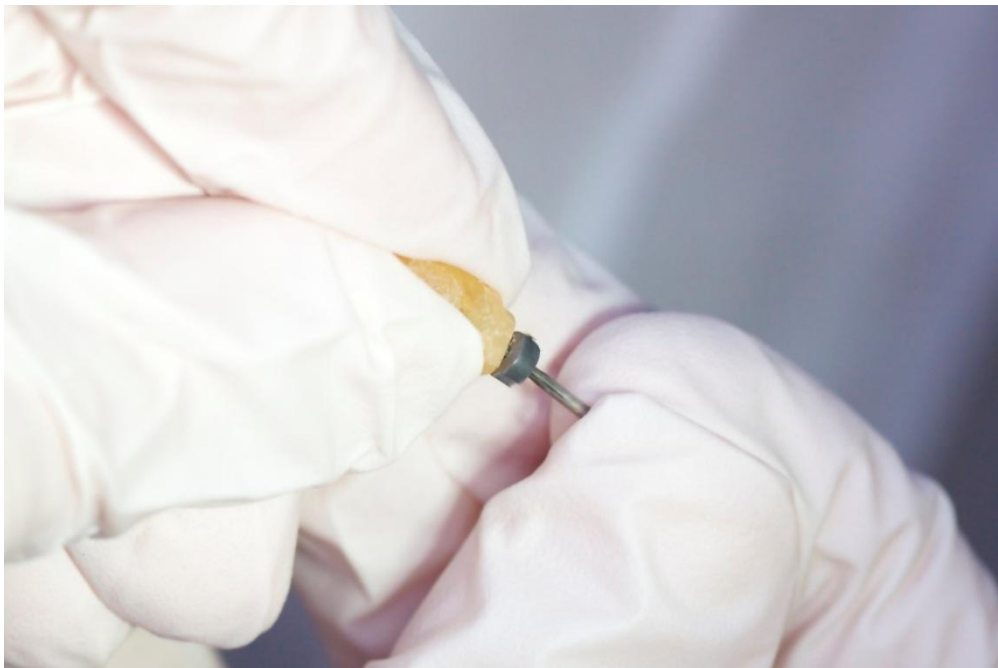


Abbildung 4: Überprüfung der Spreaderpassung mit einem auf 8 mm gestoppten Spreader

Zum Schluss wurden die Stifte mit Aluminiumoxid (50 µm) unter Verwendung von CoJet (3M Espe) abgestrahlt, um eine Erhöhung der Rautiefe zu schaffen.



#### 4.2.3 Spülprotokolle

Die Probenzähne wurden randomisiert fünf Gruppen (n=12) zugeordnet. Zur Durchführung der Wurzelkanalspülungen standen Einmalspritzen (5 ml) (B.Braun) und Endokanülen (*V.M.K. Endoneedle Dr. Buquet*) zur Verfügung. Alle Versuchszähne jeder Gruppe wurden für drei Minuten mit 5 ml der zugeteilten Spülflüssigkeit unter leichten Auf- und Abwärtsbewegungen behandelt. Dabei musste darauf geachtet werden, dass ein gleichmäßiges Applizieren des Agens erfolgte und die Zeit genau eingehalten wurde, was mit einer Stoppuhr sichergestellt wurde. Die Spülprotokolle sahen wie folgt aus:

Tabelle 1: Spülprotokolle

Gruppe I	Ethylendiamintetraacetat 17 %
Gruppe II	Natriumhypochlorit 3 %
Gruppe III	Chlorhexidindiglukonat 2 %
Gruppe IV	Zitronensäure 40 %
Gruppe V	Aqua dest. (Kontrollgruppe)

#### 4.2.4 Zementierung der Spreader

Nach Trocknung der Wurzelkanäle mit Papierspitzen der Größe ISO 60 wurde das AH 26 streng gemäß den Herstellerangaben angemischt.



Abbildung 5: AH 26-Sealer mit Pulverkomponente (Glasflasche) und Flüssigkeitskomponente (Tube)

Der Sealer besteht aus zwei Komponenten, einem Pulver und einer Flüssigkeit, die zu einer zähen fadenziehenden Konsistenz verarbeitet werden müssen. Die Applikation des Wurzelkanalsealers erfolgte mit einem Lentulo. Zusätzlich wurden die Spreader mit dem Material benetzt und dann unter leichtem Druck bis zur maximalen Aufbereitungstiefe in den Wurzelkanal eingebracht.



Abbildung 6: Einbringen des AH 26 mittels Lentulo (links), Platzieren des sealerbeschickten Spreaders mit Fingerdruck (rechts)

Abschließend wurden die Versuchsproben erneut einer Röntgenkontrolle unterzogen, um den korrekten Sitz zu verifizieren.

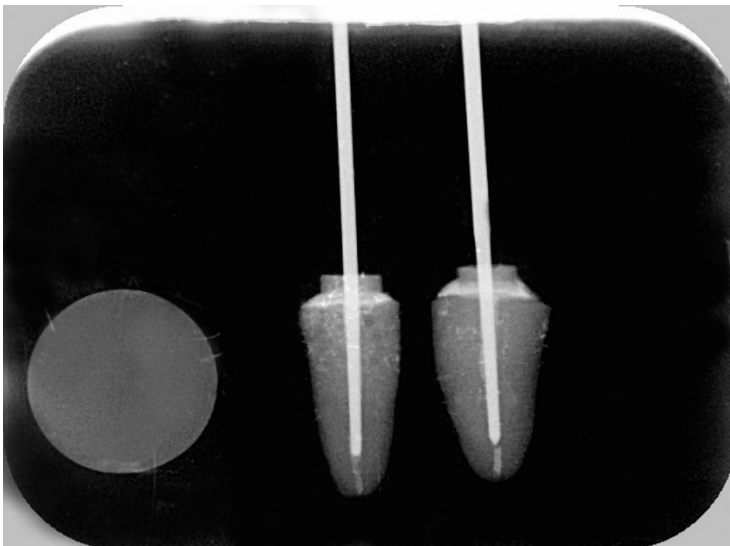


Abbildung 7: Röntgenkontrolle der einzementierten Spreader

Dabei fanden eine Bewertung der gewünschten Eindringtiefe der Stifte und die Beurteilung der Homogenität des Sealers statt. Die Versuchsproben lagerten bis zur

Aushärtung des AH 26 und der weiteren Bearbeitung auf feuchten, mit Natriumazid getränkten Mullgaze-Kompressen für zwei Wochen in einem Thermoschrank bei 37 °C.

#### 4.2.5 Pullout-Testverfahren

Zur Analyse des Haftverbundes des AH 26 zum Wurzelkanalentin stand eine Zwick-Universaltestmaschine 1120 (Zwick-Roell) zur Verfügung. Mit ihr wurde die benötigte Kraft ermittelt, die zum Herausziehen der Spreader notwendig war. Dazu wurden die Proben nacheinander in eine selbstzentrierende, initial spannungsfreie Zugvorrichtung eingespannt.

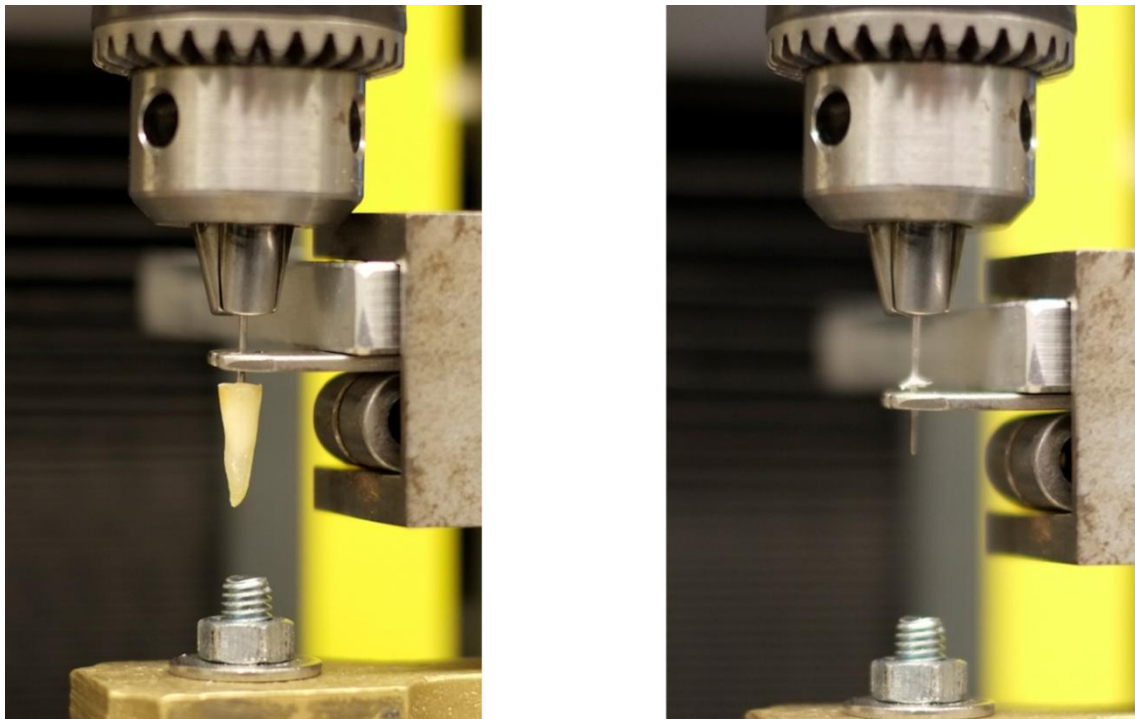


Abbildung 8: eingespannter Zahn in der Zugvorrichtung (links), herausgezogener Spreader (rechts)

Um unerwünscht auftretende extraaxiale Kräfte zu verhindern, wurde jeder eingespannte Zahn auf eine korrekte Ausgangsposition hin überprüft. Eine speziell für die Maschine entwickelte Software zeichnete ein Spannungs-Dehnungsdiagramm mit dem Maximalwert bei Versagen des Haftverbundes auf.

Folgende Eigenschaften der Universaltestmaschine wurden gewählt:

**Tabelle 2: Eigenschaften Universaltestmaschine**

Rücklaufgeschwindigkeit	300 mm/min
Prüfgeschwindigkeit	2 mm/min
Kraftabschaltswelle	50 % von $F_{\max}$
Kraftschwelle für Bruchuntersuchung	0,1 % von $F_{\text{nom}}$
Obere Kraftgrenze	2500 N
Messlänge Standardweg	50 mm

#### **4.2.6 Statistische Auswertung**

Die statistische Analyse wurde mit *SPSS 21* unter Verwendung des Kruskal-Wallis- und des Mann-Whitney-Tests vorgenommen. Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha=0,05$  festgelegt.

#### 4.2.7 Auswertung des Bildmaterials

Die Spreader wurden nach dem Pullout-Test unter dem Lichtmikroskop von jeweils zwei Seiten fotografiert. Anhand der Bilder erfolgte eine Auswertung der Frakturmodi. Dabei wurde zwischen folgenden Frakturen unterschieden:

- A Adhäsives Versagen am Stift: blanke, glatte Spreaderoberfläche
- B Adhäsives Versagen am Zahn: dicke, unregelmäßige Sealerschicht
- C Kohäsives Versagen im Sealer: matte, weitestgehend homogene dünne Oberfläche
- D Gemischte Frakturen: gleichzeitiges Auftreten von zwei oder mehr Frakturmodi ohne einen vorherrschenden Frakturmodus

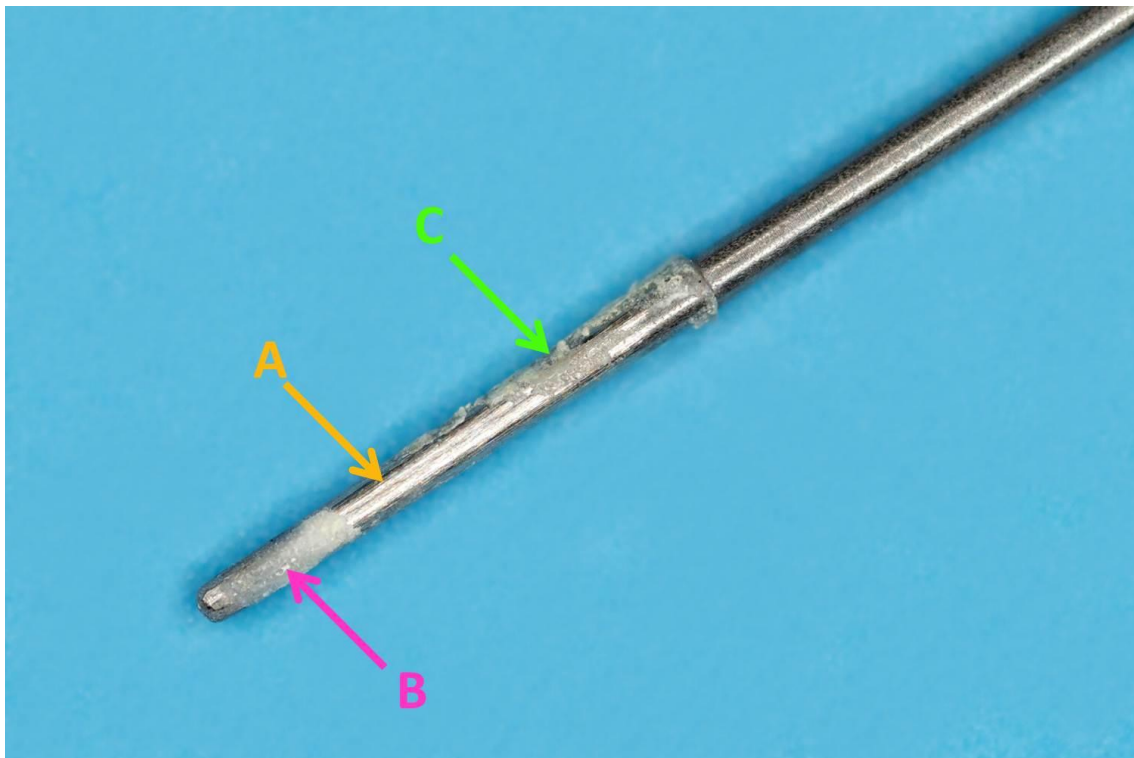


Abbildung 9: Makro-Aufnahme einer gemischten Fraktur mit drei verschiedenen vorliegenden Frakturmodi

**Tabelle 3: Prozentuale Verteilung der Frakturmodi**

	Gruppe				
Frakturmodus	1	2	3	4	5
adhäsiv	8 %	-	-	-	8,5 %
kohäsiv	-	8 %	-	-	8,5 %
gemischt	92 %	92 %	100 %	100 %	83 %

Bei Betrachtung von Tabelle 3 fällt auf, dass nach dem Pullout-Test bei der mikrofotografischen Analyse vor allem gemischte Frakturen erkennbar waren. In Gruppe I (CHX 2 %) wurde zusätzlich bei einer Probe (8 %) ein adhäsiver Verlust zum Zahn, in Gruppe II (EDTA 17 %) ebenso nur bei einer Probe (8 %) ein kohäsives Bruchverhalten festgestellt. In Gruppe V (Aqua dest. = Kontrollgruppe) wurden zum gemischten Frakturmodus je bei einer Probe ein adhäsives und ein kohäsives Bruchverhalten beobachtet.

## 5 ERGEBNISSE

Für diese Studie wurden insgesamt 60 Zähne mit unterschiedlichen Spüllösungen behandelt, mit einem auf ISO 60 adjustierten Stahlspreader und *AH 26* gefüllt und anschließend ausgewertet. Nachdem die Probenzähne für zwei Wochen auf feuchter Natriumazid-Mullgaze und bei Zimmertemperatur aufbewahrt worden sind, wurde der Haftverbund des *AH 26* zum Wurzelkanalentin durch einen Pullout-Test mithilfe der Universaltestmaschine ermittelt. Im folgenden Boxplot-Diagramm sind die Messergebnisse der jeweiligen Gruppen dargestellt:

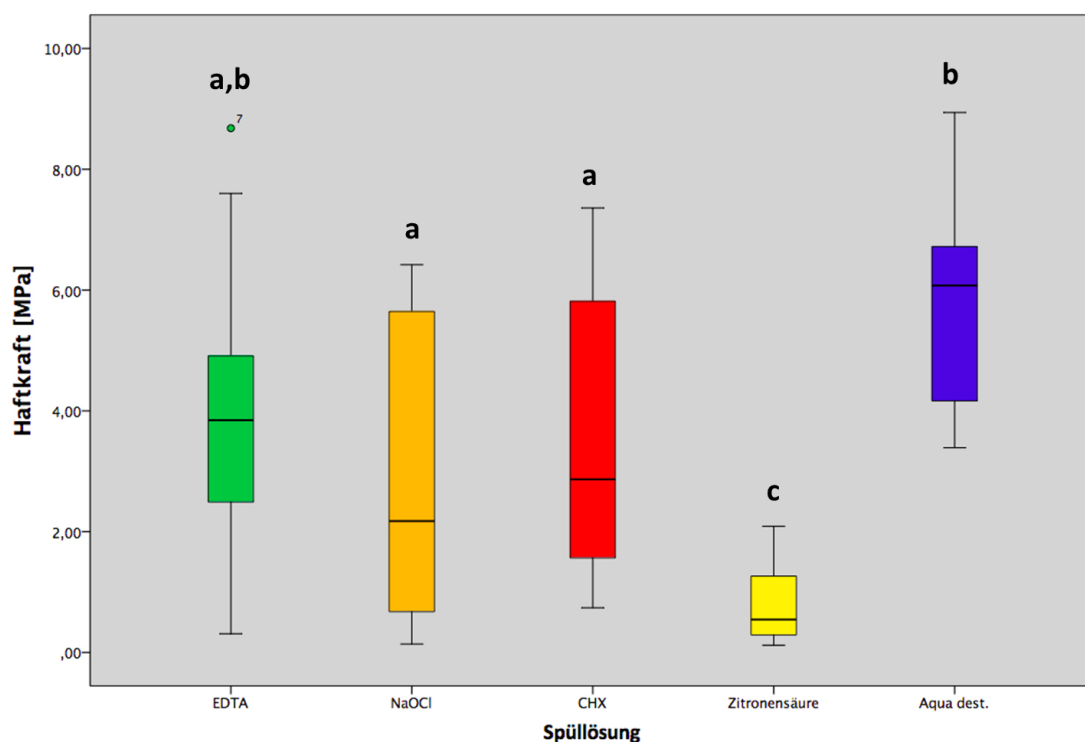


Abbildung 10: Darstellung der Ergebnisse anhand eines Boxplot-Diagramms (gleiche Buchstaben = kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen)

Anhand der Ergebnisse wird deutlich, dass die unterschiedlichen Spüllösungen im Gegensatz zur Kontrollgruppe mit Aqua dest. den Haftverbund des *AH 26* zum Wurzelkanalentin zum Teil signifikant verschlechtern. Aqua dest. weist im Mittel eine Pullout-Kraft von 5,77 MPa auf und zeigt somit das beste Resultat. Nach Spülung mit Zitronensäure wurden dabei im Mittel nur Werte von 0,82 MPa erreicht.



Tabelle 4: explorative Analyse der Haftwerte für AH 26

Spülungen	n	Mittelwert [MPa]	Standardabweichung [MPa]	Median [MPa]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Interquartil-Bereich [MPa]
EDTA (17 %)	12	4,00 <sup>a</sup>	2,48	3,84	0,31	8,68	3,29
NaOCl (3 %)	12	2,88 <sup>ab</sup>	2,51	2,18	0,14	6,42	5,08
CHX (2 %)	12	3,56 <sup>a</sup>	2,31	2,87	0,74	7,36	4,53
Zitronensäure (40 %)	12	0,82 <sup>c</sup>	0,70	0,55	0,12	2,09	1,15
Aqua dest. (Kontrolle)	12	5,77 <sup>b</sup>	1,82	6,08	3,99	8,94	2,79

Die explorative Analyse der Daten ergab, dass Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test), Varianzhomogenität (Levene-Test) und Mittelwertgleichheit (Welch-Test) nicht in allen Fällen gegeben waren. Deswegen wurden nicht-parametrische Tests angewendet. Der Kruskal-Wallis-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Spüllösungen ( $p=0,000^*$ ). Um herauszufinden, welche Gruppe dafür ursächlich verantwortlich ist, wurde der Mann-Whitney-Test durchgeführt, bei dem jeweils zwei Testgruppen miteinander verglichen werden, wie die folgende Tabelle dargestellt:

Tabelle 5: Mann-Whitney-Test

	EDTA	NaOCl	CHX	Zitronensäure	Aqua dest.
EDTA		0,248	0,644	0,001*	0,057
NaOCl	0,248		0,371	0,033*	0,007*
CHX	0,644	0,371		0,001*	0,018
Zitronensäure	0,001*	0,033*	0,001*		0,000*
Aqua dest.	0,057	0,007*	0,018	0,033*	

Es wird deutlich, dass nach Spülung des Wurzelkanals mit Zitronensäure in allen Fällen signifikant schlechtere Haftwerte ermittelt wurden als bei den übrigen Spüllösungen. Des Weiteren zeigte sich auch nach Spülung mit NaOCl ein signifikant niedrigerer Haftverbund des AH 26 zum Wurzelkanaldentin im Vergleich zur Kontrollgruppe mit Aqua dest.

## 6 DISKUSSION

### 6.1 Methodik

#### 6.1.1 Proben

Für diese Studie wurden die extrahierten Zähne zunächst in einer gesättigten Thymol-lösung aufbewahrt und gesammelt, um eine Desinfektion zu erwirken und die Versuchsproben vor dem Austrocknen zu schützen. Nachdem die gewünschte Menge erreicht war, wurden die Versuchsproben für einige Tage in 0,001%iger Natriumazid-Lösung gelagert, um eine bestmögliche Keimfreiheit zu erzielen. Einige Autoren bevorzugen bovine Zähne als Versuchsmedium, da diese ihrer Meinung nach in ihrer Größe, ihrem Alter und der Lagerungszeit standardisierter hergestellt werden können. Es wurde jedoch festgestellt, dass Rinder eine veränderte Dentinstruktur aufweisen, die sich zum Beispiel in einer anderen Tubulanzahl im Gegensatz zu humanen Zähnen widerspiegelt. Diese führt vermutlich auch zu unterschiedlichen Haftwerten bei der Verwendung von Sealern. Andererseits scheint oberflächliches Rinderdentin von verschiedenen Individuen sehr einheitlich zu sein. Folglich stellen bovine Zähne eine geeignete Alternative zu menschlichen Proben dar [16, 72]. In dieser Studie wurden humane Zähne verwendet. Möglicherweise spielen klinische Angaben wie die Diagnose des Pulpastatus zum Extraktionszeitpunkt eine Rolle, je nachdem, ob ein gesunder, ein entzündeter oder ein nekrotischer Zustand vorlag, sowie Angaben zum Geschlecht und Alter des Patienten, was in dieser Studie nicht berücksichtigt werden konnte [11, 67]. Es bedarf weiterer Untersuchungen, diese Aspekte mit einzubeziehen. Menschliche Zähne weisen eine Vielzahl anatomischer Strukturen auf und gerade die Wurzelkanalgestaltung entscheidet über den Erfolg der Kanalreinigung. Somit sind stark gekrümmte oder sehr schmale Wurzelkanäle schlechter spülbar als gerade und weite Kanäle [10, 16, 55]. Damit optimale Bedingungen vorherrschen, wurden in dieser Studie Zähne mit geraden Wurzeln gewählt und gleich weit aufbereitet. Es muss weiterhin beachtet werden, dass das Wurzelkanaldentin nicht gleichmäßig aufgebaut ist und dies Einfluss auf den Haftverbund haben kann. Demzufolge können die Werte unterschiedlich ausfallen. Dies liegt zum einen an der unterschiedlichen Tubulusanzahl, da die Tubuli koronal eine höhere Dichte aufweisen als apikal und somit auch der Sealer im größeren Maß in das Dentin penetrieren kann und der Haftverbund steigt. Zum anderen findet

man verschiedene Mineralisationsraten im Wurzelkanaldentin [60, 66, 116]. Sklerotisches Dentin führt laut Toman et al. (2009) zum Beispiel zu einem geringeren Haftverbund [116]. Altersbedingt lässt sich dieses jedoch nicht vermeiden. Es wird darauf hingewiesen, dass während der Bearbeitung der Proben die Versuchsbedingungen genau beachtet und die Versuche stets von einer Person durchgeführt wurden, so dass konstante Bedingungen vorherrschten. Trotzdem spielt auch die Erfahrung und Routine des Operators eine große Rolle. Weiterhin handelt es sich bei dem vorliegenden Fall um eine Short-term-study. Durch die Ergebnisse wird eine Tendenz zum Ausdruck gebracht, weitere Langzeitstudien müssen folgen.

### 6.1.2 Spülflüssigkeiten

In der Literatur finden sich zahlreiche Diskussionen über die Verwendung von Spülflüssigkeiten während der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung. In dieser Arbeit wurden die Hauptspüllösungen in der Endodontie näher betrachtet. Auf eine Kombination verschiedener Flüssigkeiten wurde bewusst verzichtet, um zweifelsfrei die alleinige Wirkung der jeweiligen Einzellösung nachvollziehen zu können. Bei einem Spülprotokoll mit mehreren Komponenten ist dies nicht feststellbar, da dort auch die jeweilige Kombination und Abfolge der einzelnen Spülflüssigkeiten wirksam ist. Um den genauen Vergleich zwischen den verwendeten Lösungen gewährleisten zu können, wurde ein standardisiertes Volumen von 5 ml benutzt und die Proben für drei Minuten damit gespült. Bei der chemischen Wurzelkanalaufbereitung entscheiden die Kontaktzeit und das Volumen der Spüllösung über die genaue Wirkung; die jeweiligen Eigenschaften der Flüssigkeit spielen eine untergeordnete Rolle [11, 12, 60]. So fanden zum Beispiel Goldman et al. (1982) heraus, dass mit einem Volumen von 20 ml ein besseres Ergebnis erzielt wird als nach Spülung mit 5 ml [51]. Folglich trifft die Aussage von Baker et al. (1975) zu, Finalspülungen besser mit 5 ml als mit 1 ml vorzunehmen [11]. Bei der jeweiligen Kontaktzeit der Spülflüssigkeiten mit dem Wurzelkanaldentin ist auf deren Effekte hinsichtlich einer Reduktion der Mikrohärtigkeit des Dentins sowie der Erosionsgefahr zu achten.

### 6.1.3 Stahlspreader

Um den Haftverbund von *AH 26* zum Wurzelkanalentin feststellen zu können, musste ein geeignetes Instrument gefunden werden, das den Kräften bei dem verwendeten Pullout-Test standhält. Normalerweise wird bei einer Wurzelkanalfüllung Guttapercha als bevorzugtes Material verarbeitet. Dieses ist allerdings gegenüber Zugkräften zu schwach und eine Prüfung der Haftwerte der Sealer wäre nicht möglich. Somit wurden einheitliche Stahlspreader als Tool benutzt, da sie einem Medium entsprechen, das den Kräften bis zur Belastungsgrenze des *AH 26* widerstehen kann und damit eine Standardisierung gewährleistet. Die Spreader besitzen eine Konizität von 2 %. Sie darf nicht zu groß ausfallen, da sich sonst die Friktion verschlechtert [116].

### 6.1.4 Vorbehandlung der Spreader

Das Abstrahlen der Stahlspreader mittels Aluminiumoxid dient der Schaffung einer höheren Rautiefe und somit einer Oberflächenvergrößerung, um ein besseres Benetzen mit der Wurzelkanalfüllpaste zu erzielen. Dieses Phänomen bestätigen einige Autoren, wie zum Beispiel Standlee et al. (1978), die eine bessere mikromechanische Retention des Stiftes nach dem Anrauen belegen konnten [111, 112]. Auch Asakawa et al. (2013) stimmen der Steigerung des Haftverbundes nach Oberflächenbehandlung des Stiftes zu [8]. Durch das Sandstrahlen werden Partikel auf der Stiftoberfläche zerstört, die Stifte jedoch nicht beschädigt und auch Frakturen wurden während der Testung nicht beobachtet [7]. Soares et al. (2008) behaupten, dass das Abstrahlen die mechanischen Eigenschaften nicht beeinflusst und nur zeitaufwendig und teuer sei [108]. Hingegen sind andere Wissenschaftler der Meinung, dass der Haftverbund zwischen Sealer und Stift mehr von dem Stiftmaterial als von der Oberflächenbehandlung abhängt. Außerdem besteht die Gefahr, dass verbleibende Reste des Aluminiumoxids die Haftung des Sealers behindern [97]. Zicari et al. (2012) fanden heraus, dass bei Verwendung von *Cojet* eine plastische Verformung und somit eine Volumenverkleinerung des Stiftes auftritt [136]. Dies wird durch die Bestrahlungszeit, der Partikelgröße des verwendeten Aluminiumoxids, des angewendeten Drucks und der vorhandenen Distanz zum Stift beeinflusst. Gleichzeitig geben sie aber auch an, dass unter stark kontrollierten Bedingungen der Haftverbund gesteigert wird, ohne die Stifte anzugreifen. In der

vorliegenden Studie wurden die Stahlspreader mit *CoJet* (3M Espe) bearbeitet, um eine erhöhte Rautiefe zu erzielen.

#### 6.1.5 Sealer

Wie schon in der Literaturübersicht erwähnt, werden viele verschiedene Sealer in der Endodontie verwendet. *AH 26* war lange Zeit der Sealer der Wahl und stellte somit den Goldstandard dar. Heute wird es nicht mehr als Sealer der ersten Wahl verwendet, da es bedingt durch die Polykondensationsreaktion zu einer Formaldehydfreisetzung kommt, die klinisch nicht selten postoperative Beschwerden zur Folge hatte.

Bei Studien, die sich mit dem Haftverbund der verschiedenen Sealer beschäftigen, muss immer bedacht werden, dass es sich dabei um *In-vitro*-Tests handelt. Die Mundhöhle ist ein sehr komplexes System und der wurzelkanalgefüllte Zahn unterliegt zahlreichen intraoralen Einflüssen, die nicht in *In-vitro*-Tests berücksichtigt werden können. Darüber hinaus ist die Feuchtigkeitskontrolle im Wurzelkanalsystem eingeschränkt und keine direkte Sicht während der Sealerapplikation möglich [85, 91]. Deshalb können die Ergebnisse der verschiedenen Arbeiten keine völlige Korrelation mit der klinischen Situation liefern, aber dennoch als Orientierung dienen, wie sich ein Sealer klinisch verhalten könnte. Außerdem werden immer wieder Verbesserungen der Sealer durch hinzugefügte Zusatzstoffe vorgenommen, die auf ihren Einfluss in Hinsicht auf den Haftverbund geprüft werden müssen [135]. Des Weiteren werden Haftverbundtests stark durch die Geometrie der Proben, der Größe der bindenden Oberfläche, der Kräfteverhältnisse und der Sealerart beeinflusst [26, 31]. Der Sealertyp beeinflusst den Haftverbund, da die Wurzelkanalfüllpasten in ihren Bestandteilen variieren und somit unterschiedliche Eigenschaften besitzen [17, 39]. Außerdem wird darüber diskutiert, ob sich die Schichtdicke auf die Haftwerte auswirkt. Nova et al. (2013) sehen die Schichtdicke als unwichtige Variable an [85]. Tagger et al. (2002) dagegen sind der Meinung, dass sich die Sealer je nach Dicke unterschiedlich verhalten [113]. Um diese Diskussion zu verhindern, wurden die Versuchsproben gleich weit aufbereitet und standardisierte Spreader benutzt.

Weiterhin sind sich viele Wissenschaftler einig, dass die Eindringtiefe der Sealer in die Dentintubuli weniger entscheidend für den Haftverbund bei der Wurzelkanalfüllung ist als die Mikrostruktur der jeweiligen Sealer und der Grad des Tubuliverschlusses [54, 69]. Dabei spiegelt ein hoher Haftverbund nicht die Bedeckung der gesamten Wurzelkanaloberfläche mit Sealer wider. Werden schlecht zugängliche Bereiche nicht ausgefüllt, kann die Wurzelkanalfüllung nach Belastung undicht werden [113]. Bei einem Stiftverlust liegt der Misserfolg meist in der Zementschicht [31, 34]. Kurtz et al. (2003) fanden einen signifikant höheren Einfluss der Stiftart und der Wurzelregion als des Sealers auf den Haftverbund heraus [71]. Die verschiedenen Wurzelregionen wurden in dieser Studie aufgrund der Verwendung des Pullout-Tests nicht berücksichtigt. Die Wurzel wurde in ihrer gesamten Länge betrachtet, so dass sich keine Rückschlüsse darauf ziehen lassen, inwiefern sich die jeweiligen Wurzelabschnitte auf den Haftverbund auswirken. Somit bedarf es weiterer Studien, diesen Einfluss herauszufiltern. Die Stahlspreeder entsprachen einer einheitlichen Norm, um eine Standardisierung und eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Versuchsproben zu gewährleisten.

#### **6.1.6 Messverfahren**

##### **6.1.6.1 Pullout-Test**

Dieser Test bedient sich der Zugkräfte entlang einer Längsachse. Er eignet sich hervorragend zur Messung des Haftverbundes zwischen Wurzelkanalstiften und dem Wurzelkanaldentin, da er eine gute Kräfteverteilung aufweist. Die Frakturen entstehen durch Scherkräfte parallel zur haftenden Oberfläche entlang der Längsachse des Stiftes. Im Vergleich zu anderen Tests sind die Ergebnisse meist höher [8, 26, 75]. Beim Pullout-Test können viele Proben in relativ kurzer Zeit analysiert werden, da keine weiteren Vorbereitungen nötig sind. Dadurch wird potentiellen Artefakten oder verfrühten Misserfolgen vorgebeugt, die durch das Präparieren der Proben, wie zum Beispiel dem Trimmen für den Microtensile-Test, verursacht werden können [6]. Laut einiger Autoren stellt der Pullout-Test die klinische Situation am besten dar, weil meist ein adhäsiver Verlust des gesamten Stiftes dominiert und dies in der Praxis den häufigsten Misserfolg darstellt, weil die Restaurationen vor allem axialen Belastungen ausgesetzt sind [16, 75, 85]. Auch für die Analyse des Haftverbunds von Wurzelkanalfüllungen im

Wurzelkanal wie im Rahmen der vorliegenden Studie, stellt das Pullout-Verfahren die Methode der Wahl dar, weil hiermit die Kraft ermittelt werden kann, der eine Wurzelkanalfüllung widerstehen kann, wenn beispielsweise extrusive Kräfte wirken. Dies ist bei der Präparation eines Stiftkanals und der dafür erforderlichen koronalen Reduktion der Wurzelkanalfüllung der Fall. Durch den Einsatz von nicht deformierbaren Stiften werden zusätzliche Retentionen durch Kompaktionen ausgeschlossen und somit die allein durch den Sealer erreichte Pullout-Resistenz des Spreaders ermittelt. Durch die Betrachtung des gesamten Wurzelkanals und des Stiftes in voller Länge ergibt sich ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens, da es sowohl zur Überprüfung der Vorbehandlung der Stiftoberfläche und des Wurzelkanalodontins als auch des Einflusses der Stiftlänge angewendet werden kann [17, 66, 109].

#### 6.1.6.2 Pushout-Test

Mit diesem Test ist es möglich, verschiedene Wurzelregionen auf ihre Haftwerte hin zu überprüfen, weshalb dieses Verfahren sehr beliebt ist [6, 16, 109]. Die Kraft wirkt parallel zur verklebten Oberfläche abhängig von der Probenposition und der Ausrichtung der Krafteinwirkung. Meist sind kohäsive Frakturen erkennbar. Nachteilig bei der Verwendung eines ganzen Stiftes ist, dass die Kraft schlechter verteilt wird und so niedrigere Werte beobachtet werden [26, 53]. Bitter et al. (2013) sind der Meinung, dass die auftretenden Kräfte nicht auf die klinische Situation übertragbar sind [17]. Toman et al. (2009) widersprechen dieser Auffassung und weisen darauf hin, dass der Hauptvorteil des Pushout-Tests darin besteht, die klinische Situation am besten widerzuspiegeln [116]. In der Mundhöhle sowie beim Pushout-Test werden Scherspannungen beobachtet, die miteinander vergleichbar sind. Bei der Verwendung dieses Tests bedarf es zeitintensiver Vorbereitungen, da die Proben geteilt werden müssen, um die verschiedenen Wurzelabschnitte analysieren zu können. Bei der Bearbeitung der Probenscheiben treten durch die Verwendung eines Sägeblattes Vibrationen auf, die zu Artefakten oder Dentinrissen führen können. Zudem kann der direkte Kontakt der Kühlflüssigkeit zum Sägeblatt bei löslichen Materialien theoretisch mit einwirken, wodurch der Haftverbund negativ beeinflusst werden kann [6, 16, 17, 66, 75].

#### 6.1.6.3 Microtensile-Test

Für diesen Test müssen die Proben zunächst durch Trimmen vorbereitet werden, wodurch oft vorzeitige Stiftverluste, Frakturen und eine hohe Standardabweichung auftreten [85]. Daher ist dieses Verfahren sehr zeitaufwändig und bedarf Erfahrung, um Risiken beim Präparieren der Versuchsproben vorzubeugen [8, 16]. Die Zugkräfte wirken senkrecht und der Test eignet sich besonders zur Überprüfung des Haftverbundes, da die Kräfte besser verteilt werden. Die Frakturen entstehen näher am wirklichen Kraftmaximum des Materials und stellen sich meist adhäsiv dar [8, 53, 100]. Im Gegensatz zum Pullout-Test fallen die Haftverbundwerte niedriger aus [26].

## 6.2 Ergebnisse

### 6.2.1 Prüfung der Nullhypothesen

Folgende Nullhypothesen sollten geprüft werden:

**1. Die verschiedenen Spülflüssigkeiten haben keinen Einfluss auf den Haftverbund von AH 26 zum Wurzelkanalentin.**

Diese Aussage wird **widerlegt**.

Bei Betrachtung der Ergebnisse werden signifikante Unterschiede bei der Verwendung der verschiedenen Spülflüssigkeiten deutlich. Aqua dest. erreichte die höchsten Haftwerte (5,77 MPa); Zitronensäure schnitt im Vergleich mit allen anderen Spüllösungen signifikant am schlechtesten ab (0,82 MPa). Weitere signifikante Unterschiede fanden sich zwischen NaOCl und der Kontrollgruppe mit Aqua dest.

**2. Der Smear layer hat für den Haftverbund von AH 26 zum Wurzelkanalentin keine Bedeutung.**

Diese Aussage wird **widerlegt**.

Bei EDTA und Zitronensäure handelt es sich um Chelatoren, die in der Lage sind, die Schmierschicht aufzulösen. Nach der Spülung mit EDTA wurde ein mittlerer Haftwert von 4,00 MPa gemessen; bei Verwendung von Zitronensäure wurden im Mittel



dagegen nur 0,82 MPa erreicht. Die Ergebnisse weisen also signifikante Unterschiede auf. Somit wird deutlich, dass sogar die jeweiligen Produkte zur Smear layer-Entfernung verschiedene Einflüsse auf den Haftverbund des AH 26 besitzen. Zudem ergaben die Ergebnisse bei der Verwendung von NaOCl, CHX und Aqua dest. keine konkreten Aussagen darüber, ob es von Vorteil ist, die Schmierschicht zu belassen. NaOCl und CHX wiesen signifikante Unterschiede auf.

### 6.2.2 Natriumhypochlorit (NaOCl)

Nach Spülung mit Natriumhypochlorit wurde ein Mittelwert von 2,88 MPa erzielt. Signifikante Unterschiede zeigten sich bei der Verwendung von Zitronensäure und der Kontrollgruppe mit Aqua dest. Zitronensäure schnitt mit einem Mittelwert von 0,82 MPa deutlich schlechter, destilliertes Wasser mit 5,77 MPa deutlich besser ab. Wie schon in der Literaturübersicht erwähnt, besitzt NaOCl hervorragende gewebeauflösende Eigenschaften, die bei der Wurzelkanalaufbereitung von großer Bedeutung sind. Bei der alleinigen Spülung mit dieser Flüssigkeit wird allerdings nur das organische Gewebe aufgelöst und der Smear layer bleibt bestehen. Es gilt zu erörtern, ob sich dies positiv oder negativ auf den Haftverbund verschiedener Sealer auswirkt. Die Auswirkungen auf den Haftverbund des AH 26 sind bei dem vorliegenden Ergebnis dieser Studie nicht deutlich erkennbar. Durch die Entfernung organischen Gewebes werden die Dentineigenschaften verändert, da die Kollagenschicht angegriffen bzw. ganz aufgelöst wird, was für Sealer auf Kompositbasis von Nachteil ist. Die Polymerisation wird weiterhin dadurch gefährdet, dass die Verwendung von NaOCl zur Oxidation einiger Dentinmatrixbestandteile führt. So entstehen Radikale, die mit den freien Radikalen konkurrieren und zu einem vorzeitigen Kettenabbruch und folglich einer unvollständigen Polymerisation führen [53, 65, 89, 100, 129]. Deshalb sollte NaOCl laut Wachlarowicz et al. (2007) nicht als Finalspülung verwendet werden [126]. Um einen negativen Einfluss des NaOCl insbesondere bei einigen adhäsiven Materialien zu revidieren, wird eine Spülung mit Ascorbinsäure oder Natriumascorbat zur Neutralisierung des NaOCl empfohlen [82, 129]. In einer Studie zeigen Morris et al. (2001), dass nach Verwendung von 10%igem Natriumascorbat mit einem pH-Wert von 7 bessere Ergebnisse erzielt werden als nach Verwendung einer 10%igen Ascorbinsäure mit einem pH-Wert von 4

[82]. Durch die Veränderung der Calcium-/Phosphatanteile im Wurzelkanalentin wird die Mikrohärtigkeit reduziert, was einen negativen Einfluss auf den Sealerhaftverbund nach sich zieht [37, 100]. Die Reduktion der Mikrohärtigkeit wurde in zahlreichen Studien belegt. Dabei wurde NaOCl in verschiedenen Konzentrationen eingesetzt und die Spülzeit reichte von einer Minute bis zu 15 Minuten [3, 4, 59, 87, 96, 98, 107]. Zudem wird durch Spülung mit NaOCl die Rauigkeit der Dentineoberfläche erhöht, was einen positiven Effekt auf den Haftverbund des Sealers zur Wurzelkanalwand hervorrufen kann [4]. Eine Erwärmung der Flüssigkeit erhöht deren Wirkung und auch die Aktivierung durch Ultraschall sollte in weiteren Studien genauer untersucht werden [80, 128]. Dennoch gilt zu bedenken, die negativen Eigenschaften von Natriumhypochlorit nicht unberücksichtigt zu lassen. Die Substanz unterscheidet nicht zwischen nekrotischem und gesundem Gewebe und je nach Anatomie des Apex können periapikale Reizungen auftreten. Dennoch existiert keine vergleichbare Lösung mit dieser Vielzahl an guten Eigenschaften.

### 6.2.3 Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)

Ethylendiamintetraessigsäure schneidet in dieser Studie mit einem Mittelwert von 4,00 MPa signifikant besser ab als Zitronensäure mit 0,82 MPa. Sie wird vor allem zur Entfernung des Smear layers genutzt, da sie in der Lage ist, dessen anorganische Bestandteile aufzulösen [55, 95, 101]. Allerdings ist noch nicht klar, wann der Smear layer vollständig entfernt ist. Parameter wie die Konzentration, die Einwirkdauer und das verwendete Volumen müssen berücksichtigt werden. So sind Hülsmann et al. (2003) der Meinung, dass bereits nach einer Minute die Schmierschicht aufgelöst wird, aber erst nach zehn Minuten eine Erosion zu beobachten ist [60]. Calt und Serper (2002) kommen zu demselben Ergebnis [19]. Da die Spüldauer in dieser Studie drei Minuten betrug, kann davon ausgegangen werden, dass der Smear layer entfernt wurde, aber noch keine Erosion stattgefunden hat. Die Schmierschichtentfernung scheint sich nicht negativ auf den Haftverbund des AH 26 auszuwirken. Garberoglio & Becce (1994) fanden heraus, dass eine 3%ige EDTA-Lösung eine ähnliche Wirkung wie eine 17%ige Lösung aufweist und der Smear layer in beiden Fällen entfernt wird [45]. Durch die Dekalzifizierung erweicht das Dentin und die Aufbereitung wird vereinfacht. Trotzdem gilt

zu beachten, dass die Mikrohärtigkeit durch die Spülung mit einer EDTA-Lösung reduziert wird, was einen negativen Einfluss auf die nachfolgende Wurzelkanalfüllung mit sich bringen kann [30, 59, 98]. Wird ausschließlich EDTA als Spülflüssigkeit während der Wurzelkanalbehandlung genutzt, bleibt die organische Phase am Wurzelkanalentin bestehen, die eine Schutzschicht aus Kollagen bildet [37, 56]. Dies kann bei Sealern auf Kunststoffbasis von Bedeutung sein. In dieser Studie wurde ein Sealer auf Epoxidharzbasis verwendet. Hier scheint die verbleibende Kollagenschicht keinen negativen Einfluss auf den Haftverbund zu haben. Kommt als Abschlussspülung noch einmal NaOCl zum Einsatz, wird eine starke Erosion des inter- und peritubulären Dentins beobachtet [96, 121]. Dies kann durch die vorliegende Studie nicht bestätigt werden, da eine alleinige Spülung mit EDTA stattgefunden hat.

#### 6.2.4 Zitronensäure

Zitronensäure zeigte mit einem Mittelwert von 0,82 MPa in dieser Studie die geringsten Haftwerte für AH 26. Wie EDTA ist auch Zitronensäure ein Chelator, der die anorganischen Komponenten des Smear layers auflösen kann, indem er Komplexe mit dem vorliegenden Calcium bildet. Dadurch findet allerdings auch eine Demineralisation des Wurzelkanalentin statt, die dazu führt, dass sich die Mikrohärtigkeit des Dentins verringert, was Einfluss auf den Haftverbund von Wurzelkanalsealern haben kann [30, 41, 57]. Bei einem pH-Wert von 1,1, wie im Falle der eingesetzten 40%igen Zitronensäure, besitzt die Säure das größte Komplexbildungsvermögen und es wird sehr viel Calcium aus dem Wurzelkanalentin herausgelöst, was sich anscheinend negativ auf den Haftverbund des AH 26 auswirkt. Besitzt die Säure allerdings einen pH-Wert von 0,8 und 1,3 fällt die Demineralisation geringer aus. Je höher die Konzentration, desto stärker ist der Chelator-Effekt und es kommt zur Erosion [30]. Eine 40%ige Lösung von Zitronensäure scheint das Dentin mehr anzugreifen als eine 17%ige EDTA-Lösung, was die schlechten Ergebnisse dieser Studie erklären würde. Um die chemische Reaktion steuern zu können, schlugen Hennequin, Pajot & Avignont (1994), wie schon in der Literaturübersicht erwähnt, vor, den Säuregehalt an den Calciumanteil des Dentins anzupassen [58]. Diese Idee ist allerdings sehr theoretisch, nur schwer und mit großem Aufwand praktisch umsetzbar. Weiterhin spricht die geringe Zytotoxizität der Säure für

dessen Verwendung in der Endodontie. Zitronensäure kommt natürlicherweise im menschlichen Körper vor, wie zum Beispiel in den Mitochondrien, und es wird davon ausgegangen, dass sie dadurch biologisch besser toleriert wird [127].

#### 6.2.5 Weitere Chelatoren

Andere Chelatoren, wie Maleinsäure, Milchsäure und MTAD, sollen in dieser Arbeit nur am Rande erwähnt werden, da sie in der vorliegenden Studie nicht benutzt wurden, aber dennoch in der Endodontie zum Einsatz kommen.

Als schwache Säure demineralisiert Maleinsäure das Wurzelkanaldentin nicht so stark. Die Mikrohärtigkeit wird nur wenig reduziert und dennoch wird eine gute Rautiefe erlangt. Nach Verwendung von Maleinsäure ist eine bessere Haftung als nach Spülung mit EDTA erkennbar und es werden die meisten Kollagenfasern freigelegt [84, 93]. Ballal, Mala und Bhat (2010) fanden dagegen heraus, dass Maleinsäure in den ersten fünf Minuten die Mikrohärtigkeit des Dentins mehr reduziert als EDTA und die Oberfläche rauer erscheint [12]. Nach 10 bis 15 Minuten liefert EDTA dagegen höhere Ergebnisse. Milchsäure wird natürlicherweise in den Muskeln unter anaeroben Bedingungen, also bei starker Anstrengung, gebildet und sollte deshalb gut vom menschlichen Körper toleriert werden. Es wurde nachgewiesen, dass die Wurzelkanäle nach Spülung mit Milchsäure zwar sauber, aber die Dentintubuli nicht ganz zugänglich waren [127]. MTAD ist eine Mischung aus Zitronensäure, Doxycyclin und einem Detergenten. Laut Torabinejad et al. (2003) wird der Smear layer entfernt, ohne dabei die Dentinstruktur zu verändern, auch wenn NaOCl angewandt wurde [119]. Wachlarowicz et al. (2007) fanden heraus, dass durch die Smear layer-Entfernung der Sealer besser in die Dentintubuli penetrieren kann und somit die Haftung und Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung erhöht ist [126]. Gleichzeitig kann es auch zu einem Kollaps der Kollagenmatrix kommen, was zum Verschluss der Dentinkanälchen führt. Die Mikrohärtigkeit des Wurzelkanaldentins wird aufgrund der 4,25%igen Zitronensäure reduziert, die Erosion hält sich im Gegensatz zum EDTA jedoch in Grenzen [96]. Oft wird zudem unvorteilhafterweise eine dunkle, graue Verfärbung des Dentins beobachtet oder der Sealer härtet nicht richtig aus.

### 6.2.6 Chlorhexidindiglukonat (CHX)

Chlorhexidindiglukonat erreichte in dieser Studie mit einem Mittelwert von 3,56 MPa ein gutes Ergebnis. Signifikante Unterschiede zeigten sich nur bei Spülung mit Zitronensäure. CHX überzeugt mit seinem antimikrobiellen Charakter und der hohen Substantivität. Eine 1-2%ige Lösung benötigt dieselbe Zeit, um die Mikroorganismen aus dem Wurzelkanal zu eliminieren, wie eine 5,25%ige NaOCl-Lösung [122]. Chlorhexidindiglukonat stellt eine geeignete Alternative bei einer NaOCl-Allergie und weiten Apices dar [62, 128]. Es sollte als eine harmlose Spülung bevorzugt werden, um eine optimale Wurzelkanalfüllung zu gewährleisten [3]. Des Weiteren sollte CHX als Medikamenteneinlage zur Verringerung von Flare-ups in der Endodontie eine wichtige Rolle spielen [32, 33, 128]. Der größte Nachteil besteht allerdings in der Tatsache, dass CHX überhaupt keine gewebeauflösenden Eigenschaften besitzt. Gewebereste und der durch die mechanische Wurzelkanalaufbereitung entstehende Smear layer werden somit durch die Spülung mit CHX nicht entfernt, was den Ergebnissen dieser Studie zufolge aber für AH 26 nicht nachteilig zu sein scheint. Der pH-Wert von *CHX-Endo* (Ige artis Pharma GmbH + Co. KG) liegt bei einem Mittelwert von 5,0 und somit im sauren Bereich. Intertubuläres Dentin kann herausgelöst werden und es kommt zur Erosion. In dieser Studie wurde die Flüssigkeit in einer Konzentration von 2 % verwendet und die Wurzelkanäle drei Minuten damit gespült. Laut Oliviera et al. (2007) tritt erst bei einer 15-minütigen Spülung und einer Konzentration von 2 % eine Reduktion der Mikrohärtigkeit des Wurzelkanaldentins auf [87]. Bei einer Konzentration von 0,2 % wurden keine Auswirkungen auf die Mikrohärtigkeit beobachtet [3]. Die Dekalzifizierung tritt zeitabhängig ein [124]. Aus diesem Grund wurde die Kontaktzeit des CHX bei der Spülung der Proben auf drei Minuten festgelegt. In dieser Studie sprechen viele Aspekte dafür, CHX als Spülflüssigkeit zur chemischen Wurzelkanalaufbereitung zu verwenden, wenn der Wurzelkanal mit AH 26 abgefüllt wird. In der Praxis dient es allerdings oft nur als Zusatzspülung [25, 35, 134]. Dabei sollte darauf geachtet werden, einer Ausfällung von Parachloranilinkristallen infolge gleichzeitiger Verwendung von NaOCl strengstens vorzubeugen.

### 6.2.7 *QMix 2 in 1*

Um die positiven Aspekte der verschiedenen Spülflüssigkeiten zu vereinen, werden Kombinationspräparate auf dem Markt angeboten. Eine Neuheit stellt *QMix* dar, weil es EDTA und CHX enthält, um den Smear layer aufzulösen und um zusätzlich antimikrobiell wirken zu können [42]. Außerdem wird der Ausfällung von Parachloranilinkristallen vorgebeugt [121]. Nach Spülung mit *QMix* erscheint die inter- und peritubuläre Oberfläche im Wurzelkanal glatt und es lässt sich in allen Regionen nur ein geringer Anteil an Schmutzresten finden. Im apikalen Bereich sinkt die Mikrohärtigkeit des Dentins, aber es findet keine Erosion statt [63, 121]. In dieser Studie hat keine Spülung mit *QMix* stattgefunden, aber bei Betrachtung der Ergebnisse bei alleiniger Spülung mit EDTA und CHX wird ein positiver Einfluss auf den Haftverbund von *AH 26* deutlich. Werden beide Flüssigkeiten wie im Falle des *QMix* miteinander kombiniert, lässt sich somit eine Verstärkung der positiven Wirkungen der Einzelspüllösungen vermuten. Es gilt, in anderen Studien zu überprüfen, inwiefern *QMix* Einfluss auf den Haftverbund des Sealers bei der Wurzelkanalfüllung hat.

### 6.2.8 Destilliertes Wasser (*Aqua dest.*)

Unerwarteterweise wurden nach der Spülung mit destilliertem Wasser die besten Ergebnisse für den Haftverbund von *AH 26* zum Wurzelkanalentin erzielt. Es wurde im Mittel ein Haftwert von 5,77 MPa erreicht. Nun stellt sich die Frage, was dieses Resultat für die chemische Wurzelkanalaufbereitung bedeutet. *Aqua dest.* besitzt keine gewebeauflösenden Eigenschaften und ist folglich nicht in der Lage, den Smear layer zu entfernen oder die Dentinstruktur zu verändern. Es kann lediglich durch seine Spülwirkung gelöste Partikel aus dem Wurzelkanalsystem entfernen. Dies scheint bei der Verwendung von *AH 26* ausreichend zu sein. Somit lässt sich sagen, dass der Smear layer bei der Verwendung dieses Sealers belassen werden kann und auch der vorhandene Debris, der ohne die Spülung mit NaOCl im Wurzelkanal verbleibt, hinsichtlich der Haftfestigkeitswerte als unkritisch anzusehen ist. Außerdem scheint es für den Haftverbund von *AH 26* keine Rolle zu spielen, dass eine Deprotonierung des Kollagens oder eine Kollagenfreilegung, wie es bei Verwendung von NaOCl möglich ist, nicht stattgefunden haben.

### 6.2.9 Einfluss des Smear layers

Inwiefern der Smear layer Einfluss auf den Haftverbund verschiedener Sealer nimmt, muss in weiteren Studien untersucht werden. Vermutlich spielt es auch eine Rolle, welcher Sealer eingesetzt wird. In dieser Studie ging die Smear layer-Entfernung nicht automatisch mit einer Verbesserung der Haftwerte des *AH 26* einher. Nach Spülung mit EDTA wurden im Mittel 4,00 MPa, bei Verwendung von Zitronensäure nur 0,82 MPa erreicht. Gettleman et al. (1991) beobachteten in einer Studie einen Haftwert von 20,38 kg/cm<sup>2</sup> ohne Entfernung der Schmierschicht und 12,42 kg/cm<sup>2</sup> nach dessen Auflösung [48]. Andere Autoren fanden dagegen heraus, dass die Haftwerte für *AH 26* nach der Smear layer-Entfernung höher ausfallen [40, 81]. Es ist schwer zu sagen, wann genau die Schmierschicht entfernt ist, da verschiedene Parameter wie die Konzentration, die Einwirkdauer und das verwendete Volumen der jeweiligen Spülflüssigkeit berücksichtigt werden müssen. Außerdem können unterschiedliche Studien, die sich mit diesem Thema beschäftigen, nicht miteinander verglichen werden, da zum Beispiel die Gradeinteilungen nicht einheitlich sind [24].

### 6.2.10 Analyse der Frakturmodi

Zur Auswertung des Bruchverhaltens wurden dunklere Stahlspreader genutzt, da so durch die Kontrastierung zum *AH 26* die Frakturmodi gut zugeordnet werden konnten. Die genauen Ergebnisse finden sich in Tabelle 3 (Kapitel 4) und wurden dort bereits genauer beschrieben. Da in allen Gruppen insgesamt der gemischte Frakturmodus überwog und nur ganz selten adhäsive Verluste beobachtet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Methodik allen Ansprüchen entspricht und die mit *CoJet* bearbeiteten Stahlspreader ein geeignetes Medium für die Versuche darstellen.

## 7 KLINISCHE RELEVANZ

Bis heute existiert keine endodontische Spüllösung, die allen Ansprüchen genügt. Dennoch lässt sich sagen, dass durch die zusätzliche chemische Komponente das Dentin sauberer ist als nach alleiniger mechanischer Wurzelkanalaufbereitung. Dabei ist es nicht wichtig, welche Flüssigkeit verwendet wird [11]. Da im Rahmen einer endodontischen Behandlung zudem oftmals Spülprotokolle zum Einsatz kommen, sind natürlich weitere Effekte möglich. So könnten sich positive Effekte verstärken oder aufheben. Um die Eigenschaften der einzelnen Spülflüssigkeiten auf den Haftverbund von *AH 26* zum Dentin jedoch vorab zu kennen, wurde im Rahmen dieser Studie mit den verschiedenen verfügbaren endodontischen Einzelspüllösungen gearbeitet. So lassen sich die jeweiligen Eigenschaften bei gleicher Spüldauer und Spülmenge miteinander vergleichen. NaOCl ist sehr gut geeignet, die organischen Bestandteile des Smear layers aufzulösen. Die Schmierschichtentfernung spielt hinsichtlich des Haftverbundes von *AH 26* anscheinend nur eine untergeordnete Rolle. Wenn diese jedoch, etwa im Falle eines infizierten Endodonts, zwingend entfernt werden muss, ist diese mit EDTA anstelle von Zitronensäure durchzuführen, wenn nicht eine signifikante Reduktion des Haftverbunds resultieren soll. Durch Verwendung von Chelatoren wird die Wurzelkanalaufbereitung vereinfacht, indem das Dentin erweicht wird. CHX sollte bei einer infizierten Pulpa verwendet werden.



## 8 ZUSAMMENFASSUNG

### 8.1 Hintergrund und Problemstellung

Die endodontische Behandlung spielt im Rahmen der konservierenden Zahnerhaltung eine wichtige Rolle. Sie zielt darauf, stark zerstörte und devitale Zähne nicht direkt extrahieren zu müssen, indem das nekrotische Gewebe entfernt, Keime eliminiert und der Zahn so weit aufbereitet wird, dass er eine Wurzelkanalfüllung und gegebenenfalls, je nach Zerstörungsgrad, zusätzlich einen Stift aufnehmen kann. Der Stift dient als weitere Retention für die spätere Restauration. Oft kommt es vor, dass in akzessorischen Seitenkanälen des Wurzelkanals oder in apikalen Verzweigungen Restgewebe und Keime verbleiben, die zu einer Reinfektion des Wurzelkanals führen können und somit kein dauerhafter, beschwerdefreier Zustand des Zahnes bzw. der Halt des Stiftes gewährleistet werden kann. In diesem Sinne versucht man herauszufinden, inwieweit verschiedene Spülflüssigkeiten sich auf die Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems auswirken und den Haftverbund des Sealers zum Wurzelkanaldentin beeinflussen. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob der Smear layer, der bei der Aufbereitung entsteht, entfernt oder besser belassen werden sollte.

Im Rahmen dieser Studie sollte anhand unterschiedlicher Spülprotokolle festgestellt werden, inwiefern verschiedene endodontische Spülflüssigkeiten den Haftverbund von AH 26 zum Wurzelkanaldentin beeinflussen.

## 8.2 Material und Methode

Zur Versuchsdurchführung wurden 60 extrahierte, einwurzelige, humane Zähne mit geradem Wurzelquerschnitt, die vorher noch nicht endodontisch behandelt wurden und keine größeren Defekte aufwiesen, ausgewählt. Nach Dekoronation wurden die Proben mittels *BioRaCe* (FKG Dentaire) maschinell bis ISO 60 und einer Arbeitslänge von 8 mm aufbereitet. Die Versuchsproben wurden in fünf Gruppen (n=12) randomisiert aufgeteilt:

Gruppe I: EDTA 17 %

Gruppe II: NaOCl 3 %

Gruppe III: CHX 2 %

Gruppe IV: Zitronensäure 40 %

Gruppe V: Aqua dest. (Kontrollgruppe)

Die einzelnen Gruppen wurden mit 5 ml der jeweiligen Spülflüssigkeit für drei Minuten gespült. Nach Trocknung mittels Papierspitzen wurde *AH 26* mithilfe eines Lentulo in den Wurzelkanal appliziert und ein standardisierter Stahlspreader (ISO 60) auf die entsprechende Arbeitslänge von 8 mm eingebracht. Die Endposition wurde kontrolliert und die Proben für zwei Wochen in einem Thermoschrank bei 37 °C gelagert. Die Analyse der Haftwerte des Sealers erfolgte anhand des Pullout-Tests nach Ebert et al. (2011) und der *Zwick-Universaltestmaschine 1120* (Zwick-Roell). Die statistische Auswertung wurde mit *SPSS 21* (IBM) unter Verwendung des Kruskal-Wallis- und des Mann-Whitney-Tests vorgenommen. Zur Bestimmung der Frakturmodi (adhäsiv, kohäsiv oder gemischt) wurden die Spreader nach dem Herausziehen unter dem Lichtmikroskop von zwei Seiten fotografiert.

## 8.3 Ergebnisse

Nach der Spülung mit destilliertem Wasser wurden die höchsten Haftwerte (5,77 MPa) erreicht. Zitronensäure schnitt mit einem Mittelwert von 0,82 MPa im Vergleich mit allen anderen Lösungen signifikant am schlechtesten ab. Auch nach Verwendung von

NaOCl wurde ein signifikant niedriger Haftverbund des *AH 26* zum Wurzelkanalentin gemessen als nach Spülung mit Aqua dest. Bei der Analyse der Spreader wurde weitestgehend ein gemischter Frakturmodus beobachtet.

#### **8.4 Schlussfolgerung**

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen auf, wie unterschiedlich die gemessenen Haftwerte nach Spülung mit den verschiedenen Spülflüssigkeiten ausfallen.

Bei der Spülung mit Zitronensäure wurden signifikant schlechtere Haftwerte ermittelt. Dies könnte an einer zu starken Demineralisation des Wurzelkanalentin liegen, da es sich bei der Spülflüssigkeit um eine starke Säure handelt. Um den Smear layer zu entfernen, sollte daher der Spülung mit EDTA eindeutig der Vorzug vor Zitronensäure gegeben werden. Es bedarf weiterer Studien, inwiefern sich die jeweiligen Kombinationen der einzelnen Spülflüssigkeiten auf den Haftverbund des Sealers auswirken.

## 9 SUMMARY

### 9.1 Introduction

In dentistry endodontic treatment plays an important role. Teeth with large destructions or a devitalized pulp may be preserved. The main goal consists in eliminating microorganisms and necrotic tissue and enlargement of the root canal in order to receive an adequate seal or an additional post preparation and core build-up. Sometimes posts are used to stabilize the tooth and to fix later restorations. The root canal system is a very complex system and may reveal accessory canals which are responsible for reinfections due to microorganisms or remnants of tissue. The knowledge of the effect of the different endodontic irrigations on root canal dentine is of enormous importance to ensure a clean and sterilized dentine wall and to detect which effect they have on the bond strength of the sealer. Furthermore it is discussed which role the smear layer generated on the basis of endodontically treatment plays and whether it should be left in its place or be removed. Aim of this study was to evaluate the influence of different irrigation solutions on the bond strength of *AH 26* and the root canal dentine.

### 9.2 Material and Methods

For this study 60 humane teeth with one root and a straight canal profile were selected. Each tooth was previously not endodontically treated and did not show large destructions. After decoronation the prepared teeth were mechanically instrumented with *BioRaCe* (FKG Dentaire) to enlarge the root canal up to ISO 60 and 8 mm. Then the specimens were randomly divided into five groups (n=12).

- group I:        EDTA 17 %
- group II:      chlorhexidine gluconate 2 %
- group III:     sodium hypochlorite 3 %
- group IV:     citric acid 40 %
- group V:      distilled water (control group)

Each group was irrigated with 5 ml of the specific solution for 3 minutes. After drying the root canal with paper points *AH 26* was applied with the help of a lentulo and standardized spreaders of size ISO 60 were inserted up to the working length of 8 mm. The fitting was inspected and the teeth were stored for two weeks at 37 °C. Afterwards the specimens were subjected to a pullout-test (Ebert et al., 2011) using *Zwick* universal testing machine 1120 (Zwick-Roell) to find out the maximal bond strength of the sealer to the root canal dentine. To interpretate the results *SPSS 21* (IBM) including Kruskal-Wallis and Mann-Whitney test were utilized. Fracture modes (adhesive, cohesive or mixed) were determined using microphotographs of the extruded spreaders of two aspects.

### 9.3 Results

Rinsing the root canal with distilled water resulted in the highest bond strength values (5,77 MPa) of the sealer in the present study. In contrast to that citric acid showed a median of 0,82 MPa compared with all other groups, revealing the significantly lowest bond strength values. When irrigating the root canal with NaOCl bond strength of *AH 26* was significantly lower than using distilled water. By analysing the fractures modes of the spreaders there were almost observed mixed qualities.

### 9.4 Conclusion

On examination the bond strength after rinsing the root canal with different endodontic irrigation solutions there are various results.

Citric acid showed the lowest bond strength potentially caused by increased demineralisation that is inadequate for obtaining ideal bond strength of *AH 26* demineralize the root dentine too hard due to its strong acidic potential.

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

1. Aktener BO, Cengiz T, Pişkin B: The penetration of smear material into dentinal tubules during instrumentation with surface-active reagents: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 15, 588-590 (1989)
2. Al-Hiyasat AS, Tayyar M, Darmani H: Cytotoxicity evaluation of various resin based root canal sealers. *Int Endod J* 43, 148-153 (2010)
3. Ari H, Erdemir A, Belli S: Evaluation of the Effect of Endodontic Irrigation Solutions on the Microhardness and the Roughness of Root Canal Dentin. *J Endod* 30, 792-795 (2004)
4. Ari H, Yaşar E, Belli S: Effects of NaOCl on bond strengths of resin cements to root canal dentin. *J Endod* 29, 248-251 (2003)
5. Arias-Moliz MT, Camilleri J: The effect of the final irrigant on the antimicrobial activity of root canal sealers. *J Dent* 52, 30-36 (2016)
6. Arslan H, Yılmaz CB, Karatas E, Barutçigil C, Topcuoglu HS, Yeter KY: Efficacy of different treatments of root canal walls on the pull-out bond strength of the fiber posts. *Lasers Med Sci* 30, 863-868 (2015)
7. Arslan H, Kurklu D, Ayrancı LB, Barutçigil C, Yılmaz CB, Karatas E, Topçuoğlu HS: Effects of post surface treatments including Er:YAG laser with different parameters on the pull-out bond strength of the fiber posts. *Lasers Med Sci* 29, 1569-1574 (2014)
8. Asakawa Y, Takahashi H, Kobayashi M, Iwasaki N: Effect of components and surface treatments of fiber-reinforced composite posts on bond strength to composite resin. *J Mech Behav Biomed Mater* 26, 23-33 (2013)

9. Assmann E, Scarparo RK, Böttcher DE, Grecca FS: Dentin bond strength of two mineral trioxide aggregate-based and one epoxy resin-based sealers. *J Endod* 38, 219-221 (2012)
10. Baumgartner JC, Mader CL: A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod* 13, 147-157 (1987)
11. Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S: Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *J Endod* 1, 127-135 (1975)
12. Ballal NV, Mala K, Bhat KS: Evaluation of the effect of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic Acid on the microhardness and surface roughness of human root canal dentin. *J Endod* 36, 1385-1388 (2010)
13. Ballal NV, Mala K, Bhat KS: Evaluation of decalcifying effect of maleic acid and EDTA on root canal dentin using energy dispersive spectrometer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 112, 78-84 (2011)
14. Barbizam JV, Souza M, Cecchin D, Dabbel J: Effectiveness of a silicon-based root canal sealer for filling of simulated lateral canals. *Braz Dent J* 18, 20-23 (2007)
15. Bidar M, Sadeghalhoseini N, Forghani M, Attaran N: Effect of the smear layer on apical seals produced by two calcium silicate-based endodontic sealers. *J Oral Sci* 56, 215-219 (2014)
16. Binus S, Koch A, Petschelt A, Berthold C: Restoration of endodontically treated teeth with major hard tissue loss-bond strength of conventionally and adhesively luted fiber-reinforced composite posts. *Dent Traumatol* 29, 339-354 (2013)
17. Bitter K, Hambarayan A, Neumann K, Blunck U, Sterzenbach G: Various irrigation protocols for final rinse to improve bond strengths of fiber posts inside the root canal. *Eur J Oral Sci* 121, 349-354 (2013)

18. Burns DR, Moon PC, Webster NP, Burns DA: Effect of endodontic sealers on dowels luted with resin cement. *J Prosthodont* 9, 137-141 (2000)
19. Calt S, Serper A: Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod* 28, 17-19 (2002)
20. Camargo CH, Oliveira TR, Silva GO, Rabelo SB, Valera MC, Cavalcanti BN: Setting time affects in vitro biological properties of root canal sealers. *J Endod* 40 , 530-533 (2014)
21. Cameron JA: The use of ultrasonics in the removal of smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod* 9, 289-292 (1983)
22. Cameron JA: The use of ultrasonics for the removal of the smear layer. The effect of hypochlorite concentrations: SEM study. *Aust Dent J* 33, 193-200 (1988)
23. Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I, Laurent P, About I: Bioactivity of a Calcium Silicate-based Endodontic Cement (BioRoot RCS): Interactions with Human Periodontal Ligament Cells In Vitro. *J Endod* 41, 1469-1473 (2015)
24. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P: Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod* 36, 1361-1366 (2010)
25. Carson KR, Goodell GG, McClanahan SB: Comparison of the antimicrobial activity of six irrigants on primary endodontic pathogens. *J Endod* 31, 471-473 (2005)
26. Castellan CS, Santos-Filho PC, Soares PV, Soares CJ, Cardoso PE: Measuring bond strength between fiber post and root dentin: a comparison of different tests. *J Adhes Dent* 12, 477-485 (2010)



27. Chang SW, Lee SY, Kang SK, Kum KY, Kim EC: In vitro biocompatibility, inflammatory response, and osteogenic potential of 4 root canal sealers: Sealapex, Sankin apatite root sealer, MTA Fillapex, and iRoot SP root canal sealer. *J Endod* 40, 1642-1648 (2014)
28. Cheung GSP, Stock CJR: In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. *Int Endod J* 26, 334-343 (1993)
29. Cotton WR. Symposium: methodology and criteria in the evaluation of biologic effects of dental materials. Introductory remarks. *J Endod* 4, 295 (1978)
30. Cruz-Filho AM, Sousa-Neto MD, Savioli RN, Silva RG, Vansan LP, Pécora JD: Effect of chelating solutions on the microhardness of root canal lumen dentin. *J Endod* 37, 358-362 (2011)
31. Davis ST, O'Connell BC: The effect of two root canal sealers on the retentive strength of glass fibre endodontic posts. *J Oral Rehabil* 34, 468-473 (2007)
32. De Assis DF, Prado Md, Simão RA: Evaluation of the interaction between endodontic sealers and dentin treated with different irrigant solutions. *J Endod* 37, 1550-1552 (2011)
33. Delany GM, Patterson SS, Miller CH, Newton CW: The effect of chlorhexidine gluconate irrigation on the root canal flora of freshly extracted necrotic teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53, 518-523 (1982)
34. Demiryürek EO, Külünk S, Yüksel G, Saraç D, Bulucu B: Effects of three canal sealers on bond strength of a fiber post. *J Endod* 36, 497-501 (2010)
35. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) und Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ): Stellungnahme: Die Wurzelkanalspülung (2006)

36. Dias LL, Giovani AR, Silva Sousa YT, Vansan LP, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Paulino SM: Effect of eugenol-based endodontic sealer on the adhesion of intraradicular posts cemented after different periods. *J Appl Oral Sci* 17, 579-583 (2009)
37. Doğan H, Calt S: Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *J Endod* 27, 578-580 (2001)
38. Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE: Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer. *J Endod* 20, 78-82 (1994)
39. Ebert J, Leyer A, Günther O, Lohbauer U, Petschelt A, Frankenberger R, Roggendorf MJ: Bond strength of adhesive cements to root canal dentin tested with a novel pull-out approach. *J Endod* 37, 1558-1561 (2011)
40. Economides N, Liolios E, Kolokuris I, Beltes P: Long-term evaluation of the influence of smear layer removal on the sealing ability of different sealers. *J Endod* 25, 123-125 (1999)
41. Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S: Effect of EDTA and citric acid solutions on the micro-hardness and the roughness of human root canal dentin. *J Endod* 31, 107–110 (2005)
42. Elnaghy AM: Effect of QMix irrigant on bond strength of glass fibre posts to root dentine. *Int Endod J* 47, 280-290 (2014)
43. Ercan E, Ozekinci T, Atakul F, Gül K: Antibacterial activity of 2% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite in infected root canal: in vivo study. *J Endod* 30, 84-87 (2004)
44. Erdemir A, Ari H, Güngüneş H, Belli S: Effect of medications for root canal treatment on bonding to root canal dentin. *J Endod* 30, 113-116 (2004)

45. Garberoglio R, Becce C: Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 78, 359-367 (1994)
46. Gençoglu N, Türkmen C, Ahiskali R: A new silicon-based root canal sealer (Roekoseal-Automix). *J Oral Rehabil* 30, 753-757 (2003)
47. Gerosa R, Menegazzi G, Borin M, Cavalleri G.: Cytotoxicity evaluation of six root canal sealers. *J Endod* 21, 446-448 (1995)
48. Gettleman BH, Messer HH, ElDeeb ME: Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 17, 15-20 (1991)
49. Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS: Scanning electron microscope study of a new irrigation method in endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 48, 79-83 (1979)
50. Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J: New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod* 2, 257-260 (1976)
51. Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS: The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod* 8, 487-492 (1982)
52. Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Berber VB, Teixeira FB, Souza-Filho FJ: In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 34, 424-428 (2001)
53. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, Tay F, Ferrari M: The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci* 112, 353-361 (2004)

54. Guimarães BM, Amoroso-Silva PA, Alcalde MP, Marciano MA, de Andrade FB, Duarte MA: Influence of ultrasonic activation of 4 root canal sealers on the filling quality. *J Endod* 40, 964-968 (2014)
55. Gu XH, Mao CY, Kern M: Effect of different irrigation on smear layer removal after post space preparation. *J Endod* 35, 583-586 (2009)
56. Hassan A, Goda A, Baroudi K: The effect of different disinfecting agents on bond strength of resin composites. *Int J Dent* (2014)
57. Haznedaroğlu F: Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96, 340-344 (2003)
58. Hennequin M, Pajot J, Avignant D: Effects of different pH values of citric acid solutions on the calcium and phosphorus contents of human root dentin. *J Endod* 20, 551-554 (1994)
59. Hu X, Ling J, Gao Y: Effects of irrigation solutions on dentin wettability and roughness. *J Endod* 36, 1064-1067 (2010)
60. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A: Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J* 36, 810-830 (2003)
61. Huuonen S, Lenander-Lumikari M, Sigurdsson A, Ørstavik D: Healing of apical periodontitis after endodontic treatment: a comparison between a silicone-based and a zinc oxide-eugenol-based sealer. *Int Endod J* 36, 296-301 (2003)
62. Jeansonne MJ, White RR: A comparison of 2.0 % chlorhexidine gluconate and 5.25 % sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. *J Endod* 20, 276-278 (1994)

63. Kara Tuncer A, Tuncer S, Siso SH: Effect of QMix irrigant on the microhardness of root canal dentine. *Aust Dent J* 60, 163-168 (2015)
64. Khalil I, Naaman A, Camilleri J: Properties of Tricalcium Silicate Sealers. *J Endod* 42, 1529-1535 (2016)
65. Khoroushi M, Kachuei M: Pull-out bond strength of a self-adhesive resin cement to NaOCl-treated root dentin: effect of antioxidizing agents. *Restor Dent Endod* 39, 95-103 (2014)
66. Koch AT, Binus SM, Holzschuh B, Petschelt A, Powers JM, Berthold C: Restoration of endodontically treated teeth with major hard tissue loss - influence of post surface design on pull-out bond strength of fiber-reinforced composite posts. *Dent Traumatol* 30, 270-279 (2014)
67. Kokkas AB, Boutsoukis ACh, Vassiliadis LP, Stavrianos CK: The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod* 30, 100-102 (2004)
68. Kontakiotis EG, Tzanetakis GN, Loizides AL: A 12-month longitudinal in vitro leakage study on a new silicon-based root canal filling material (Gutta-Flow). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 103, 854-859 (2007)
69. Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parissis-Messimeris S, Boutsoukis A: Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study. *Endod Dent Traumatol* 14, 191-195 (1998)
70. Kuçi A, Alaçam T, Yavaş O, Ergul-Ulger Z, Kayaoglu G: Sealer penetration into dentinal tubules in the presence or absence of smear layer: a confocal laser scanning microscopic study. *J Endod* 40, 1627-1631 (2014)

71. Kurtz JS, Perdigão J, Geraldeli S, Hodges JS, Bowles WR: Bond strengths of tooth-colored posts, effect of sealer, dentin adhesive, and root region. *Am J Dent* 16, 31-36 (2003)
72. Lalh MS, Titley K, Torneck CD, Friedman S: The shear bond strength of glass ionomer cement sealers to bovine dentine conditioned with common endodontic irrigants. *Int Endod J* 32, 430-435 (1999)
73. Lee KW, Williams MC, Camps JJ, Pashley DH: Adhesion of endodontic sealers to dentin and guttapercha. *J Endod* 28, 684-688 (2002)
74. Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LA, Nelson Filho P, Bonifacio KC, Ito IY: In vivo antimicrobial activity of 2% chlorhexidine used as a root canal irrigating solution. *J Endod* 25, 167-171 (1999)
75. Li Q, Xu B, Wang Y, Cai Y: Effects of auxiliary fiber posts on endodontically treated teeth with flared canals. *Oper Dent* 36, 380-389 (2011)
76. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD: Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod* 10, 477-483 (1984)
77. Mamootil K, Messer HH: Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *Int Endod J* 40, 873-881 (2007)
78. Mayhew JT, Windchy AM, Goldsmith LJ, Gettleman L: Effect of root canal sealers and irrigation agents on retention of preformed posts luted with a resin cement. *J Endod* 26, 341-344 (2000)
79. McComb D & Smith DC: A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod* 1, 238-242 (1975)

80. Mohammadi Z: Sodium hypochlorite in endodontics an update review. *Int Dent J* 58, 329-341 (2008)
81. Moradi S, Naghavi N, Rohani E, Javidi M: Evaluation of microleakage following application of a dentin bonding agent as root canal sealer in the presence or absence of smear layer. *J Oral Sci* 51, 207-213 (2009)
82. Morris MD, Lee KW, Agee KA, Bouillaguet S, Pashley DH: Effects of sodium hypochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod* 27, 753-757 (2001)
83. Mutoh N, Satoh T, Watabe H, Tani-Ishii N.: Evaluation of the biocompatibility of resin-based root canal sealers in rat periapical tissue. *Dent Mater J* 32, 413-419 (2013)
84. Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao CV, De-Deus G, Zehnder M: The impact of root dentine conditioning on sealing ability and push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer. *Int Endod J* 44, 491-498 (2011)
85. Nova V, Karygianni L, Altenburger MJ, Wolkewitz M, Kielbassa AM, Wrbas KT: Pull-out bond strength of a fibre-reinforced composite post system luted with self-adhesive resin cements. *J Dent* 41, 1020-1026 (2013)
86. Nygaard-Østby B: Chelation in root canal therapy: ethylenediaminetetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontol Tidskr* 65, 3-11 (1957)
87. Oliveira LD, Carvalho CA, Nunes W, Valera MC, Camargo CH, Jorge AO: Effects of chlorhexidine and sodium hypochlorite on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104, 125-128 (2007)
88. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE: Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 17, 512-519 (2001)

89. Ozturk B, Ozer F: Effect of NaOCl on bond strengths of bonding agents to pulp chamber lateral walls. *J Endod* 30, 362-365 (2004)
90. Pelka M, Petschelt A: Permanent mimic musculature and nerve damage caused by sodium hypochlorite: a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 106, 80-83 (2008)
91. Pereira JR, da Rosa RA, do Valle AL, Ghizoni JS, Só MV, Shiratori FK: The influence of different cements on the pull-out bond strength of fiber posts. *J Prosthet Dent* 112, 59-63 (2014)
92. Pramila R, Muthu MS, Deepa G, Farzan JM, Rodrigues SJ: Pulpectomies in primary mandibular molars: a comparison of outcomes using three root filling materials. *Int Endod J* 49, 413-421 (2016)
93. Prati C, Montanari G, Biagini G, Fava F, Pashley DH: Effects of dentin surface treatments on the shear bond strength of Vitrabond. *Dent Mater* 8, 21-26 (1992)
94. Prüllage RK, Urban K, Schäfer E, Dammaschke T: Material Properties of a Tricalcium Silicate-containing, a Mineral Trioxide Aggregate-containing, and an Epoxy Resin-based Root Canal Sealer. *J Endod* 42, 1784-1788 (2016)
95. Rasimick BJ, Shah RP, Musikant BL, Deutsch AS: Effect of EDTA conditioning upon the retention of fibre posts luted with resin cements. *Int Endod J* 41, 1101-1106 (2008)
96. Saghiri MA, Delvarani A, Mehrvarzfar P, Malganji G, Lotfi M, Dadresanfar B, Saghiri AM, Dadvand S: A study of the relation between erosion and microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, 29-34 (2009)
97. Sahafi A, Peutzfeldt A: Durability of the bond between resin composite cores and prefabricated posts. *Acta Odontol Latinoam* 67, 216-221 (2010)



98. Saleh AA, Ettman WM: Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine. *J Dent* 27, 43-46 (1999)
99. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D: The effects of dentine pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *Int Endod J* 35, 859-866 (2002)
100. Santos JN, Carrilho MR, De Goes MF, Zaia AA, Gomes BP, Souza-Filho FJ, Ferraz CC: Effect of chemical irrigants on the bond strength of a self-etching adhesive to pulp chamber dentin. *J Endod* 32, 1088-1090 (2006)
101. Sayin TC, Serper A, Cehreli ZC, Otlu HG: The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104, 418-424 (2007)
102. Scarparo RK, Grecca FS, Fachin EV: Analysis of tissue reactions to methacrylate resin-based, epoxy resin-based, and zinc oxide-eugenol endodontic sealers. *J Endod* 35, 229-232 (2009)
103. Schäfer E, Zandbiglari T: Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 36, 660-669 (2003)
104. Schweikl H, Schmalz G, Federlin M: Mutagenicity of the root canal sealer AH Plus in the Ames test. *Clin Oral Investig* 2, 125-129 (1998)
105. Sen BH, Wesselink PR, Türkün M: The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J* 28, 141-148 (1995)
106. Sevimay S, Dalat D: Evaluation of penetration and adaptation of three different sealers: a SEM study. *J Oral Rehabil* 30, 951-995 (2003)

107. Slutzky-Goldberg I, Hanut A, Matalon S, Baev V, Slutzky H: The effect of dentin on the pulp tissue dissolution capacity of sodium hypochlorite and calcium hydroxide. *J Endod* 39, 980-983 (2013)
108. Soares CJ, Santana FR, Pereira JC, Araujo TS, Menezes MS: Influence of airborne-particle abrasion on mechanical properties and bond strength of carbon/epoxy and glass/bis-GMA fiber-reinforced resin posts. *J Prosthet Dent* 99, 444-454 (2008)
109. Soejima H, Takemoto S, Hattori M, Yoshinari M, Kawada E, Oda Y: Effect of adhesive system on retention in posts comprising fiber post and core resin. *Dent Mater J* 32, 659-666 (2013)
110. Souza-Junior EJ, Bueno VC, Dias CT, Paulillo LA: Effect of endodontic sealer and resin luting strategies on pull-out bond strength of glass fiber posts to dentin. *Acta Odontol Latinoam* 23, 216-221 (2010)
111. Standlee JP, Caputo AA: Endodontic dowel retention with resinous cements. *J Prosthet Dent* 68, 913-917 (1992)
112. Standlee JP, Caputo AA, Hanson EC: Retention of endodontic dowels: effects of cement, dowel length, diameter, and design. *J Prosthet Dent* 39, 400-405 (1978)
113. Tagger M, Tagger E, Tjan AH, Bakland LK: Measurement of adhesion of endodontic sealers to dentin. *J Endod* 28, 351-354 (2002)
114. Tavares CO, Böttcher DE, Assmann E, Kopper PM, de Figueiredo JA, Grecca FS, Scarparo RK: Tissue reactions to a new mineral trioxide aggregate-containing endodontic sealer. *J Endod* 39, 653-657 (2013)
115. Tidmarsh BG: Acid-cleansed and resin-sealed root canals. *J Endod* 4, 117-121 (1978)

116. Toman M, Toksavul S, Sarikanat M, Firidinoğlu K, Akin A: The evaluation of displacement resistance of glass FRC posts to root dentine using a thin slice push-out test. *Int Endod* 42, 802-810 (2009)
117. Topçuoğlu HS, Tuncay Ö, Demirbuga S, Dinçer AN, Arslan H: The effect of different final irrigant activation techniques on the bond strength of an epoxy resin-based endodontic sealer: a preliminary study. *J Endod* 40, 862-866 (2014)
118. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK: Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 94, 658-666 (2002)
119. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S: A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod* 29, 170-175 (2003)
120. Tuğ Kılış B, Er K, Taşdemir T, Yildirim M, Taskesen F, Tümkeya L, Kalkan Y, Serper A: Neurotoxicity of various root canal sealers on rat sciatic nerve: an electrophysiologic and histopathologic study. *Clin Oral Investig* 19, 2091-2100 (2015)
121. Tuncer A: Effect of QMix 2in1 on sealer penetration into the dentinal tubules. *J Endod* 41, 257-260 (2015)
122. Vianna ME, Gomes BP, Berber VB, Zaia AA, Ferraz CC, de Souza-Filho FJ: In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 97, 79-84 (2004)
123. Viapiana R, Moinzadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru Filho M, Camilleri J: Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *Int Endod J* 49, 774-782 (2016)

124. Vilanova WV, Carvalho-Junior JR, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT: Effect of intracanal irrigants on the bond strength of epoxy resin-based and methacrylate resin-based sealers to root canal walls. *Int Endod J* 45, 42-48 (2012)
125. Violich DR, Chandler NP: The smear layer in endodontics -a review. *Int Endod J* 43, 2-15 (2010)
126. Wachlarowicz AJ, Joyce AP, Roberts S, Pashley DH: Effect of endodontic irrigants on the shear bond strength of epiphany sealer to dentin. *J Endod* 33, 152-155 (2007)
127. Wayman BE, Kopp WM, Pinero GJ, Lazzari EP: Citric and lactic acids as root canal irrigants in vitro. *J Endod* 5, 258-265 (1979)
128. Weber CD, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD: The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5.25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals. *J Endod* 29, 562-564 (2003)
129. Weston CH, Ito S, Wadgaonkar B, Pashley DH: Effects of time and concentration of sodium ascorbate on reversal of NaOCl-induced reduction in bond strengths. *J Endod* 33, 879-881 (2007)
130. Wennberg A: Biological evaluation of root canal sealers using in vitro and in vivo methods. *J Endod* 6, 784-787 (1980)
131. White RR, Goldman M, Lin PS: The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials Part II. *J Endod* 13, 369-374 (1987)
132. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS: A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endod* 9, 137-142 (1983)

133. Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M: Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. *J Endod* 21, 513-515 (1995)
134. Zehnder M: Root canal irrigants. *J Endod* 32, 389-398 (2006)
135. Zhou HM, Du TF, Shen Y, Wang ZJ, Zheng YF, Haapasalo M: In vitro cytotoxicity of calcium silicate-containing endodontic sealers. *J Endod* 41, 56-61 (2015)
136. Zicari F, De Munck J, Scotti R, Naert I, Van Meerbeek B: Factors affecting the cement-post interface. *Dent Mater* 28, 287-297 (2012)

## 11 ANHANG

### 11.1 Analyse der Spreader

Gruppe: CHX	adhäsiv zum Zahn	adhäsiv zum Spreader	kohäsiv	gemischt
16C				x
17C				x
18C				x
19C				x
20C				x
C6				x
C7				x
C8				x
C9				x
C10				x
C11				x
C12	x			

Gruppe: EDTA	adhäsiv zum Zahn	adhäsiv zum Spreader	kohäsiv	gemischt
1E			x	
2E				x
3E				x
4E				x
5E				x
E1				x
E2				x
E3				x
E4				x
E5				x
E6				x
E7				x
E8				x
E9				x

Gruppe: NaOCl	adhäsiv zum Zahn	adhäsiv zum Spreader	kohäsiv	gemischt
11N				x
12N				x
13N				x
14N				x
15N				x
N6				x
N7				x
N8				x
N9				x
N10				x
N11				x
N12				x

Gruppe: Zitro	adhäsiv zum Zahn	adhäsiv zum Spreader	kohäsiv	gemischt
6Z				x
7Z				x
8Z				x
9Z				x
10Z				x
Z6				x
Z7				x
Z8				x
Z9				x
Z10				x
Z11				x
Z12				x

Gruppe: Aqua dest.	adhäsiv zum Zahn	adhäsiv zum Spreader	kohäsiv	gemischt
K1				x
K2				x
K3				x
K4				x
K5				x
K6				x
K7		x		
K8				x
K9				x
K10			x	
K11				x
K12				x



## 11.2 Materialliste

Material	Hersteller
gesättigte Thymol-Lösung	Fa. Merck
0,001 %ige Natriumazid-Lösung	
Scaler	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
rotierendes Bürstchen	
grünes Winkelstück	<i>INTRAmatic Lux 3</i> , Fa. KaVo
Diamantschleifer	Pluradent AG und Co. KG, Offenbach, Deutschland
rotes Winkelstück	<i>INTRAmatic Lux 2</i> , Fa. KaVo
<i>C-Pilotfeile</i>	
<i>BioRaCe</i> -Instrumenten	FKG Dentaire
Spreader-Rohlinge	Fa. Dentsply Maillefer
Messlehre	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Arkansas-Steinchen	
<i>CoJet</i> 3M Espe	3M Espe
Einmalspritzen (5 ml)	B.Braun
Endokanülen	<i>V.M.K. Endoneedle Dr. Buquet</i>
Natriumhypochlorit 3 %	
Chlorhexidindiglukonat 2 %	
Ethylendiamintetraessigsäure 17 %	
Zitronensäure 40 %	
Aqua dest. (Kontrollgruppe)	
Papierspitzen ISO 60	
<i>AH 26</i>	
Lentulo	
Mullgaze-Kompressen	
Zwick-Universaltestmaschine	Zwick-Roell, Ulm, Deutsschland
Lichtmikroskop	
Digitalspiegelreflexkamera	
<i>CHX Endo</i>	lege artis Pharma GmbH + Co. KG

### 11.3 Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Aqua dest.	Destilliertes Wasser
Bzw.	beziehungsweise
Ca(OH) <sub>2</sub>	Calciumhydroxid
CHX	Chlorhexidindigluconat
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn,- Mund- und Kieferheilkunde
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
et al.	et alii → und andere
F	Kraft
ISO	International Organization of Standardization
J/m <sub>2</sub>	Joule pro Quadratmeter
min	Minuten
Mio	Millionen
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mm <sup>2</sup>	Quadratmillimeter
MPa	Mega-Pascal
N	Newton
N	Stoffmenge
NaOCl	Natriumhypochlorit
Nm	Nanometer
N/mm	Newton/Millimeter
µm	Mikrometer
pH	potentia Hydrogenii
U/min	Umdrehungen/Minute
%	Prozent
°C	Grad Celsius

## 11.4 Übersicht der Abbildungen

Abbildung 1: röntgenologische Überprüfung der Probenzähne .....	16
Abbildung 2: Abtrennung der Wurzel an der Schmelz-Zement-Grenze .....	17
Abbildung 3: Für die Wurzelkanalaufbereitung eingesetztes <i>BioRaCe</i> -Instrumenten-Set .....	17
Abbildung 4: Überprüfung der Spreaderpassung mit einem auf 8 mm gestoppten Spreader .....	18
Abbildung 5: <i>AH 26</i> -Sealer mit Pulverkomponente (Glasflasche) und Flüssigkeitskomponente (Tube) .....	20
Abbildung 6: Einbringen des <i>AH 26</i> mittels Lentulo (links), Platzieren des sealerbeschickten Spreaders mit Fingerdruck (rechts) .....	21
Abbildung 7: Röntgenkontrolle der einzementierten Spreader .....	21
Abbildung 8: eingespannter Zahn in der Zugvorrichtung (links), herausgezogener Spreader (rechts) .....	22
Abbildung 9: Makro-Aufnahme einer gemischten Fraktur mit drei verschiedenen vorliegenden Frakturmodi .....	24
Abbildung 10: Darstellung der Ergebnisse anhand eines Boxplot-Diagramms (gleiche Buchstaben = kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen) ..	26

## 11.5 Übersicht der Tabellen

Tabelle 1: Spülprotokolle .....	19
Tabelle 2: Eigenschaften Universaltestmaschine .....	23
Tabelle 3: Prozentuale Verteilung der Frakturmodi .....	25
Tabelle 4: explorative Analyse der Haftwerte für <i>AH 26</i> .....	27
Tabelle 5: Mann-Whitney-Test .....	27

## **12 VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER**

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und die Damen und Herren Dozenten:

Arweiler, Cetin, Feuser, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Hellak, Himpel, Höffken, Jablonski-Momeni, Korbmacher-Steiner, Lamp, Lill, Lotzmann, Mandic, Mengel, Milani, Mittag, Moll, Mutters, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Ohnmeiß, Pieper, Ramaswamy, Roggendorf, Steiniger, Weber, Westermann, Wrocklage

### 13 DANKSAGUNG

Obwohl es doch viel länger gedauert hat als geplant, ist die Arbeit endlich geschafft. Ich danke Priv.-Doz. Dr. Matthias J. Roggendorf für seine Unterstützung und Geduld. Besonders hervorheben möchte ich meine Jessica. Ohne sie wäre ich nicht so weit gekommen, da sie mich mit ihren aufbauenden Worten und ihrem unermüdlichen Zuspruch immer wieder motiviert hat. Es gibt viele Leute, die hinter mir stehen und dafür bin ich sehr, sehr dankbar. Gerade in den Momenten, in denen es mal nicht so vorangeht, erkennt man, was man an ihnen hat. Deswegen danke ich meiner Familie, auf deren Unterstützung ich immer zählen konnte und die versucht hat, mich mit Ablenkungswochenenden zu entspannen und vor allem danke ich meinem Freund Matthias, der einige meiner Launen über sich ergehen lassen musste und trotzdem immer noch bei mir ist. Danke!